

中国读本



# 中国古代科技

金秋鹏 著



中国国际广播出版社

图书在版编目（CIP）数据

中国古代科技 / 金秋鹏著. —北京：中国国际广播出版社，2010.9

（中国读本）

ISBN 978-7-5078-3162-7

I. ①中… II. ①金… III. ①自然科学史-中国-古代 IV. ①N092

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第089137号

中国古代科技

|        |                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------|
| 著者     | 金秋鹏                                                                  |
| 责任编辑   | 张婧                                                                   |
| 版式设计   | 国广设计室                                                                |
| 责任校对   | 徐秀英                                                                  |
| 出版发行社址 | 中国国际广播出版社（83139469 83139489[传真]）<br>北京复兴门外大街2号（国家广电总局内）<br>邮编：100866 |
| 网 址    | www.chirp.com.cn                                                     |
| 经 销    | 新华书店                                                                 |
| 印 刷    | 北京广内印刷厂                                                              |
| 开 本    | 640×940 1/16                                                         |
| 字 数    | 71千字                                                                 |
| 印 张    | 10.5                                                                 |
| 版 次    | 2010年9月 北京第一版                                                        |
| 印 次    | 2010年9月 第一次印刷                                                        |
| 书 号    | ISBN 978-7-5078-3162-7/N·3                                           |
| 定 价    | 18.00元                                                               |

国际广播版图书 版权所有 盗版必究  
（如果发现印装质量问题，本社负责调换）

# 目 录

|     |                                                  |     |
|-----|--------------------------------------------------|-----|
| 第一章 | 中国传统科学技术的萌芽（原始社会时期，<br>170 万年前 ~ 4000 年前） .....  | 1   |
| 第二章 | 中国传统科学技术的奠基（先秦时期，约<br>公元前 21 世纪 ~ 前 221 年） ..... | 15  |
| 第三章 | 中国传统科学技术的形成（秦汉—南北朝<br>时期，前 221 ~ 581） .....      | 41  |
| 第四章 | 中国传统科学技术的发展（隋唐宋元时期，<br>581 ~ 1368） .....         | 79  |
| 第五章 | 中国传统科学技术的衰落（明清时期，<br>1368 ~ 1911） .....          | 119 |

## 第一章

# 中国传统科学技术的萌芽

(原始社会时期, 170 万年前 ~ 4000 年前)



人类历史是从制造工具开始的，现知世界上最早出现的人类化石距今已有三四百万年。中国是古人类遗存发现较多的国家之一，已发现的最早的古人类遗存是距今 170 万



云南元谋人遗址

年前的云南元谋人。也就是说，在中国大地上至少已经有 170 万年以上的人类活动历史。人们习惯于把国家建立之前的人类社会称为原始社会，又按其使用的石器的加工状况分为旧石器时代和新石器时代。中国大约在 10000 年前从旧石器时代进入到新石器时代，在大约 4000 年前开始建立国家。由此人们可以看到，我们的祖先有 99.8% 的时间是生

活在原始社会时期。在这漫长的岁月里，先民们从零起步，艰难而又极其缓慢地前进着，创造了初始的技术，萌生和积累了不少科学知识，开拓了中国传统科学技术的先河。

## 石器及其孕育的科学知识

当人们在山林中受到野兽袭击时，情急之下会本能地捡起木棍抡劈，或拾起石块抛掷砍砸。我们可以在许多战争故事片中，看到弹尽之后用石块当武器的镜头。而在果树下，人们还可以经常看到小孩们手持木棍、竹杆敲打果子，投掷石块击打果子的情景。人类的这种本领可以说是最原始的本能的体现。

当人类在地球上刚出现的时候，就是使用这样的工具在大自然中求生存的。渐渐地他们学会了对木棒和石块进行加工，出现了人造的工具——木器和石器。随着时间的推移，木器、石器的种类逐渐增多，加工工艺也逐渐精细，还发明了把石器捆绑在木棍上的复合工具。同时，人们也对兽骨和贝壳进行加工、制成工具。人类就是在加工和制造工具这一活动中，逐步地脱离了动物界，并不断进化的。

由于木器无法长期保存，传诸后世，故遗留到现在的只有石器、骨器、贝壳器等。当我们走进历史博物馆参观时，最先看到的往往就是这些人类早期所使用的工具的遗物。

早期石器的加工非常简单、粗糙。最原始的方法，是用天然砾石进行敲击或碰击，使之破裂出现刃口，选取合

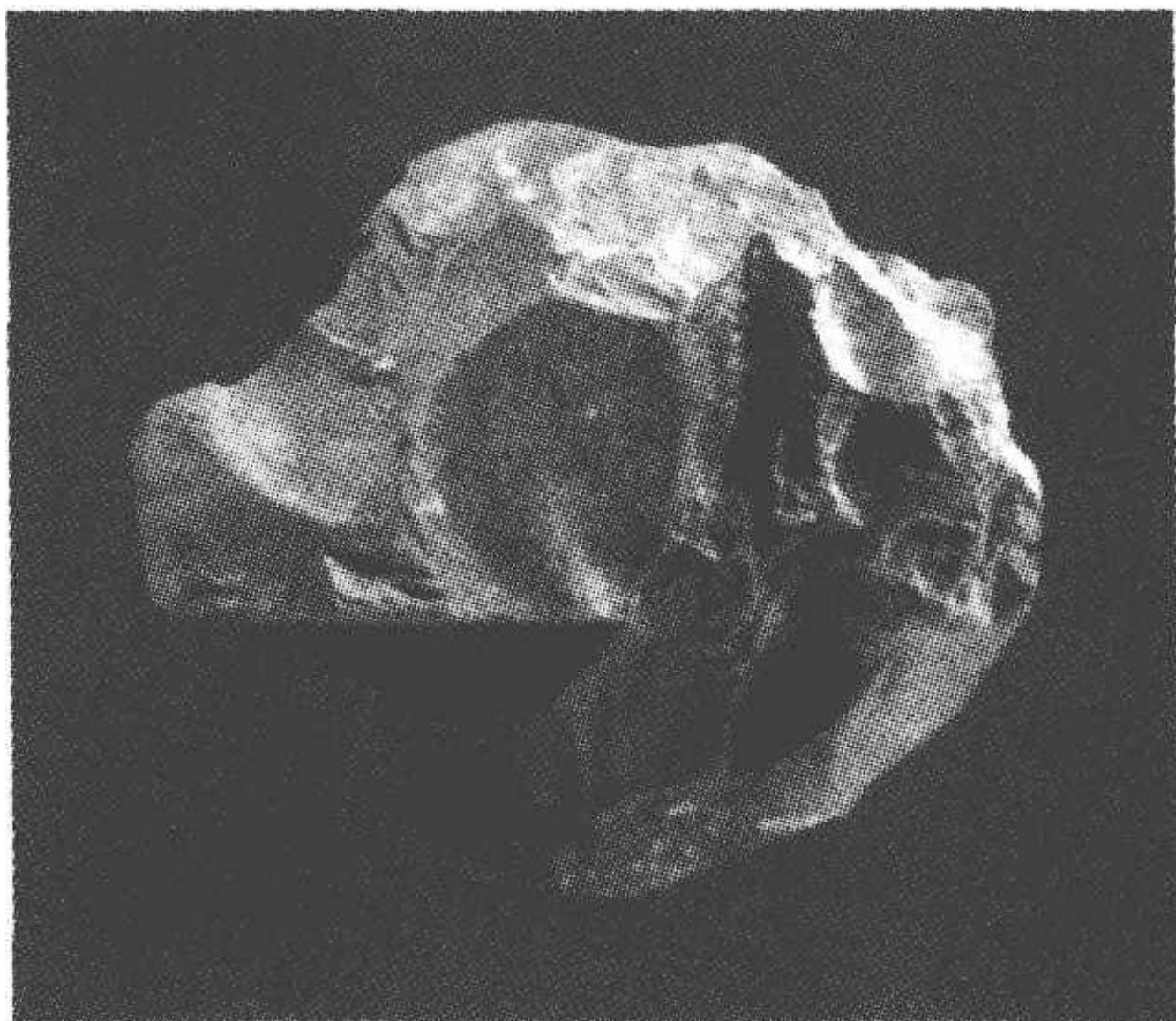


用的就成石器了。每件石器通常都兼有砍、砸、劈、刮等多种用途。其后，为了得到刃部较薄较锋利的切割器，就发明了新的加工工艺，先从石块（石核）上打下所需要的石片，再对石片的刃口进行修整。随着人类的进化，石器的加工工艺也不断进步，出现了不少新式石器，如多边砍砸器、三棱尖状器、刮削器、石球等。而且，利用石器对兽骨、贝壳进行钻孔加工的技术也已出现，制造出骨针以及钻孔的石球、砾石、兽牙、鱼骨、海蚶壳等器物。

大约在 10000 年前，石器的加工技术有了质的飞跃，进入了磨制加工的时期。其工艺过程是：选取适宜的石料，打制成石器的雏形，把刃部或整个表面放在砺石上加水或沙子磨光。经磨制的石器表面平整，刃部锋度提高，用途趋于专一。为了方便，还利用钻孔技术钻孔，使其能比较牢固地捆扎在木柄上，成为木石复合工具。工具的改进，促进了生产力的提高，加快了迈向文明的步伐。



①尖状器



②刮削器

北京人使用的石器

应该说在原始社会时期还没有科学，换句话说就是作为独立形态的科学还没有问世。在当时，科学还寓于技术之中，并在实际的生活和生产经验中蕴生着最初的科学知识。硬度、石质、压强、杠杆等方面的知识，就是孕育在石器的制造和加工中的。人们在选取制造石器的石料时，发现了不同质地的石料硬度不同，石质也有粗细之分，因而产生了关于硬度和石质的知识；把石块加工成尖状器或带刃部的器物，将其磨尖、磨利，使用起来更为方便有力，已暗寓关于压强的知识；用木棍或木石复合工具进行生产活动，可以省力和提高工效，已不自觉地应用着杠杆原理。如此等等，科学知识就是在这种蒙眬状态之中不断地萌发，并被人们实际运用着。

## 弓箭的发明

弓箭今天已成为人们娱乐和运动的一种器械，但是在枪炮发明之前，却是人们打猎和作战的重要远射武器。弓箭由弓、弦和箭三部分构成，人拉弓弦做的功转化成为拉开了的弓弦的势能，起着动力的作用；拉开的弓弦弹回，势能转化为动能，把箭弹出，射到一定的距离，这起的是传动的作用；箭簇（zú）则起了工具的作用，它射到猎物或敌人身上，等于人用工具打击猎物或敌人。因此，可以说弓箭已具有机器的三大要素：发动机、传动机构和工具机。在这一意义上，也可以说弓箭是人类最早发明的机器。

弓箭到底发明于何时，现已无从考证。我国考古工作

者在山西朔县峙峪旧石器时代的人类生活遗址中，发现有石箭头，一端具有较锋利的尖头，另一端两侧经过加工，形成稍窄的箭座，以便与箭杆捆绑在一起。这一发现表明，至迟在 28000 年前我国就已经有了弓箭。

弓箭的使用，使人手的作用范围大大增加。从此，人就可以弥补奔跑不如野兽快的不足，猎取较远距离或奔跑中的猎物，甚至飞禽，也可以用来射鱼，因而促进了渔猎生产的发展。同时，弓箭也可以更有效地抵御野兽的袭击，保护自身的安全。无论从技术史的角度看，还是从社会发展史的角度看，弓箭的发明和使用，都可以称之为一次重要的革命。当然，对于弓箭本身所包含着的复杂的科学道理，当时的人们是完全不理解的。

### **钻木取火**

可能是雷电引起的山林火灾，也可能是林中厚积的枯枝烂叶自燃引发的山林大火，使人类接触到火，并逐渐认识到火的意义。火改变了人类“茹毛饮血”的习惯，变生食为熟食，并扩大了人类的食物范围；火带给人类以光亮和温暖，可在夜间照明，冬天取暖；火可有效地防止野兽侵袭，也可用来围猎；火可用来开垦荒地，扩大耕地面积，发展农业生产；火可用来烧制陶器，烘烤竹木，烧裂石块，从而制造出更多的用具和工具；……可以说人类自身体质的进化，人类文明的进步，都是离不开火的。

170 万年前的云南元谋人，70 ~ 90 万年前的陕西蓝田



人，可能已经用火了。在 40 ~ 50 万年前的北京人居住的洞穴里，发现有几层灰烬，其中一层最厚处达六米，反映了当时已曾长时间燃点过篝火，具有了保存火种和管理火的能力。

从自然界取得火种，并长时间加以保存，这是非常不易和不便的。人类的技能和智慧毕竟在进化着，他们在制造石器时，发现击砸石块会溅射火花；在磨、钻石器 and 木器时，更发现了摩擦生热的现象，由此终于发明了钻木取火的技术。我国古代把这一功劳归之于“燧（suì）人氏”，说他“钻燧取火，以化腥臊”（《韩非子·五蠹篇》），实际上燧人氏可能是较早发明钻木取火的部落。除钻木取火外，先民们可能还发明有其他的取火方法。如用敲击石块时溅出的火花取得火种，我国历史上长期使用的用火刀敲击火石以产生火花，点燃艾绒的取火方法，可能就是由此发展而来的。在 20 世纪四五十年代，我国一些少数民族还保持着原始的人工取火方法，如黎族的钻木取火法，佤族的摩擦生火法，傣族的压击取火法，德昂族的锯竹生火法等。

人工取火方法的发明，标志着人类第一次真正控制和利用了一种强大的自然力。它对于人类文明发展的作用是无法估量的。

### 神农作耒耜

在我国古代的传说中，有一个农业之神，叫神农氏。他教人们制造农具，“斫（zhuó）木为耜（sì），揉木为

耒 (lěi)” (《易·系辞下》), 用耒耜开荒垦地, 播种五谷, 人们从此便不再愁没有东西吃了。耒耜二字后来便成为农具的泛称。



神农执耒图

当然传说不等于史实, 实际上农业生产并不是由哪一个人所发明的。在我国已经发现的新石器遗址中, 几乎都可以看到人类从事农业生产的遗物, 其中有大量石制农具及一些炭化的谷物。各地的遗物表明, 在我们的祖先进入新石器时代之际, 就已开始进行农业生产, 而且分布面很广, 不限于一时一地。

在人类文明的发展史上, 农业的出现是一个带有决定性意义的重大事件。它使人类有了固定的生活来源, 从而开始了定居的生活, 不必去为追逐或寻觅食物而奔波、迁徙。伴随着定居生活, 人们也开始了对一些动物进行驯化、家养, 有了家畜、家禽的养殖业。由于定居生活, 使人们逐渐聚居, 形成了村落, 并随着生产的发展和社会分工的深化, 使城镇乃至国家的出现成为可能。从科学意义上说, 农业和养殖业使人们更多地了解动植物的生长特性, 萌生了生物学的知识; 人们在

寻觅可食用的动植物的过程中，也发现了一些动植物的药用功能，萌生了医药学的知识；农业与季节、天气的关系，萌生了天文学、气象学的知识；农业与灌溉的关系，萌发了农田水利技术；农田的丈量，食物的分配，则萌生了数学的初始知识……可以说，如果没有农业，人类的文明就难以发展、进步。

## 制陶技术

陶器的出现，是我们的祖先进入新石器时代的一个重要标志。在古代的传说中，神农氏在发明耕种的同时，又发明了陶器，表明陶器的出现与农业有着密切的关系。

陶器由黏土烧制而成，可以说是人类创造的第一种人造物质。早期陶器的制作工艺是用手把坯料捏成器物的坯形，或用泥条盘筑成形，再放到火中焙烧，使其烧结。随着生产经验的不断积累，陶器的制作工艺也在不断改进。

在制坯工艺方面，发明了木制陶轮。把坯料放在旋转着的陶轮上，就可以制作出圆形的器物。这种方法称为轮制法，不但提高了制坯效率，而且使器形规整、美观。

在坯料加工方面，发明了淘洗工艺，以去除泥浆中的杂质，从而使制出的陶器质地细致，品质提高。随着淘洗工艺的出现，生产出了质地优良的泥质陶和细泥陶。

在坯胎加工方面，也有不少创新，出现了表面磨光的“磨光陶”，施加颜料彩绘的彩陶，以及在烧制过程中渗炭而烧成的黑陶等。



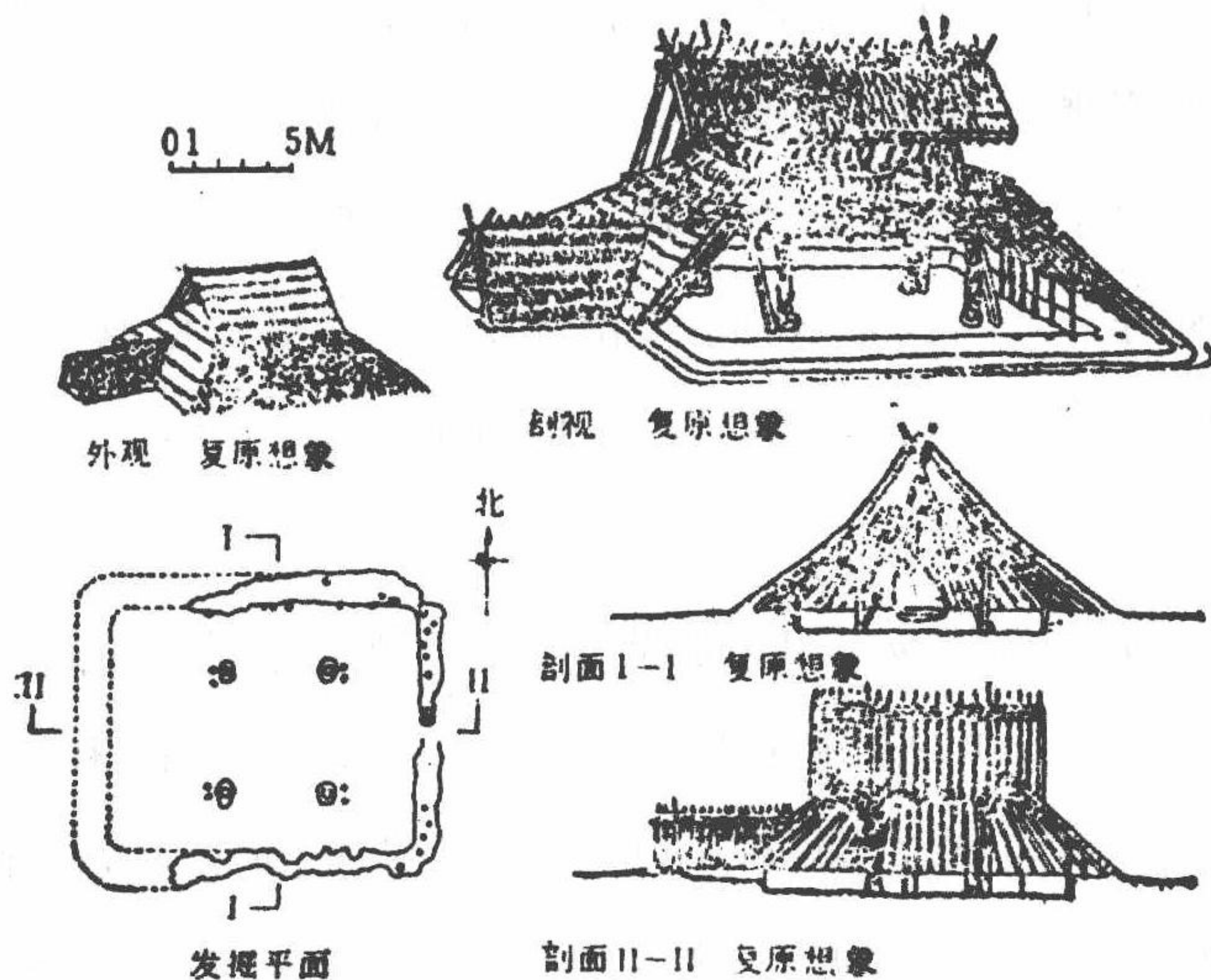
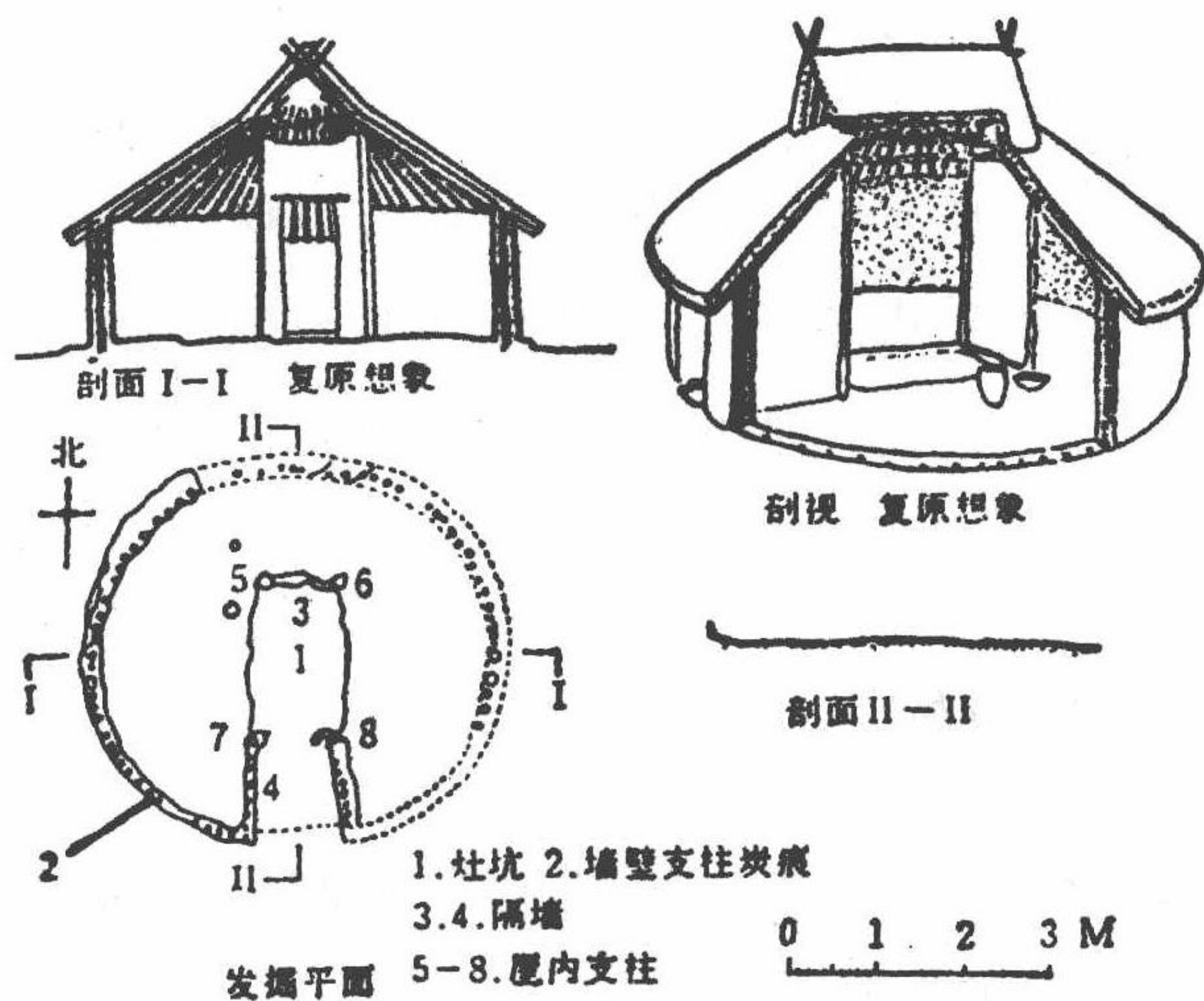
烧制陶器的窑也逐步得到改进，由开始时的露天堆烧，进而发展为封泥堆烧，接着发展成半地下式的横穴窑和竖穴窑。窑的改进，提高了窑温，火力也更加均匀，使烧出的陶器品质更加优良。

轮制法、淘洗工艺、坯胎表面加工工艺，以及半地下式的竖窑等，在后世的陶瓷生产中被长期采用，有的至今仍在应用，只不过设备和工艺更加完善而已。

### 构木为巢

“上古穴居而野处”（《易·系辞下》），我们的祖先在初始之时，便是栖息在天然的山洞里，或旷野之中的。随着智能的提高，人们也开始有意识地营造自己的居所。有的可能是受一些动物打洞的启示，在山丘上挖掘洞穴，即古籍上所说的：“古者人之初生，未有宫室之时，因陵丘掘穴而处焉”（《墨子·节用篇》）。有的可能是受鸟类在树上作巢的启示，在树上用木头、树枝搭建居巢，故被称之为有巢氏。即古籍上所说的：“古者禽兽多而人少。于是民皆巢居以避之，昼拾橡、栗，暮栖木上，故命（古通名）之曰有巢氏之民”（《庄子·盗跖（zhí）篇》）。这就是人类最早的营建活动，居室、宫殿、楼阁，以至今天的高楼大厦，都是在这起点上发展出来的。

进入新石器时期，我们祖先的营建技能已向前跨出了一大步。在较干燥的地区，建造出一种木骨泥墙的房舍，这可能是由穴居发展而来的。其建筑式样又分为半地穴式



中心大方形屋

和地面建筑，圆形和方形建筑等。在黄河流域发现的原始村落遗址，就是属于这样的建筑。而在较为潮湿的地区，则出现了干栏式建筑，它可能是由巢居发展而来的。所谓

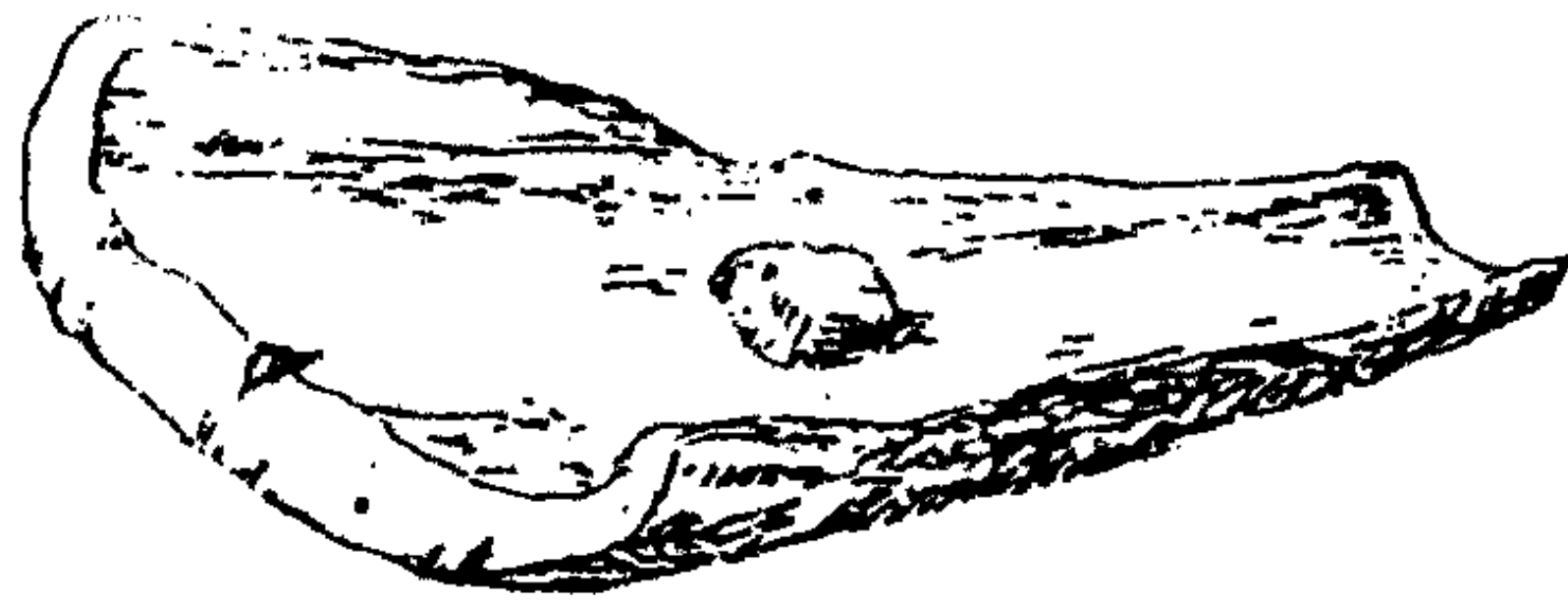
的干栏式建筑，就是在房屋的下部采用密集の木桩作基础，形成架空的干栏式结构，然后在上面建造长方形或椭圆形的房屋。在浙江余姚河姆渡发现的大约 7000 年前的居住遗址，就是属于干栏式建筑。这种建筑现在还可以在南方地区，尤其是云南少数民族地区看到，当然已经要比原始时代进步得多了。

### 水上活动的肇始

人类的生存离不开水，早期的先民们一般都生活和活动在水边。他们不但饮水以维持生命，也从水中捕捞鱼虾之类的生物以食用，更盼望到水对面的大自然中去开拓更多的生活资源。他们从漂浮在水面上的落叶和枯木上得到启迪，发明了水上的交通工具。古籍中所说的，“古者观落叶因以为舟”（西汉·刘向《世本》），“古人见窾（kuǎn）木浮而知为舟”（西汉·刘安《淮南子》），正是舟船之所以发明的写照。

最早的水上活动工具有筏和独木舟，它们至今还在一些地方使用着，可见其生命力之强。筏又有木筏和竹筏之分，其制造工艺最为简便，只要把一根根的木头或竹子并列着捆扎在一起就行了。独木舟则是选取粗大的树干，一般直径在一米以上，长度在五米以上，甚至有长一二十米的，把要造舟的部分用泥土包裹起来，再用火烧烤，使不用的部分炭化，再用石斧、石刀砍削而成。后来的船只是由独木舟发展起来的。





福建连江西汉独木舟

关于独木舟的发明者，在古代有不少传说。有说是黄帝的两个大臣共鼓和货狄发明的，有说是尧时一个叫垂的巧工发明的，而影响最大的传说则是“伏羲氏剡（kū）木为舟，剡（yǎn）木为楫。舟楫之利，以济不通”（《易·系辞下》）。这些传说表明，独木舟并不是一人、一时、一地发明的，凡是在水域附近活动的人群，都有机会发明独木舟。



## 第二章

# 中国传统科学技术的奠基

(先秦时期，约公元前 21 世纪 ~ 前 221 年)



约公元前 21 世纪时，在中国大地上建立了第一个王朝——夏王朝，自此中国开始步入了文明发展的历程。金属工具的出现，使农业和手工业生产获得较大的发展，社会分工也更加细化。特别是开始有了脑力劳动与体力劳动的分工，以及文字的出现，为科学的诞生创造了必要的条件。

及至春秋战国时期，随着铁器的使用、生产力的提高、社会的变革、学术的繁荣，科学技术也呈现出了一个蓬勃发展的局面，奠定了中国传统科学技术的基础。具有鲜明中国特色的科学技术，例如天文学、数学、医学、冶金技术等，都在这时期产生，并迈开了前进的步伐。从世界古代文明发展史看，中国早期的文明是落后于古巴比伦、古埃及以至古希腊的。但是，由于中国走着自己的发展道路，发明了青铜冶铸和生铁冶铸技术，加快了文明发展的速度，所以到公元前三四世纪时，已经达到了世界的先进水平，可以与古希腊文明相媲美了。

### **“炉火纯青” 话冶铜**

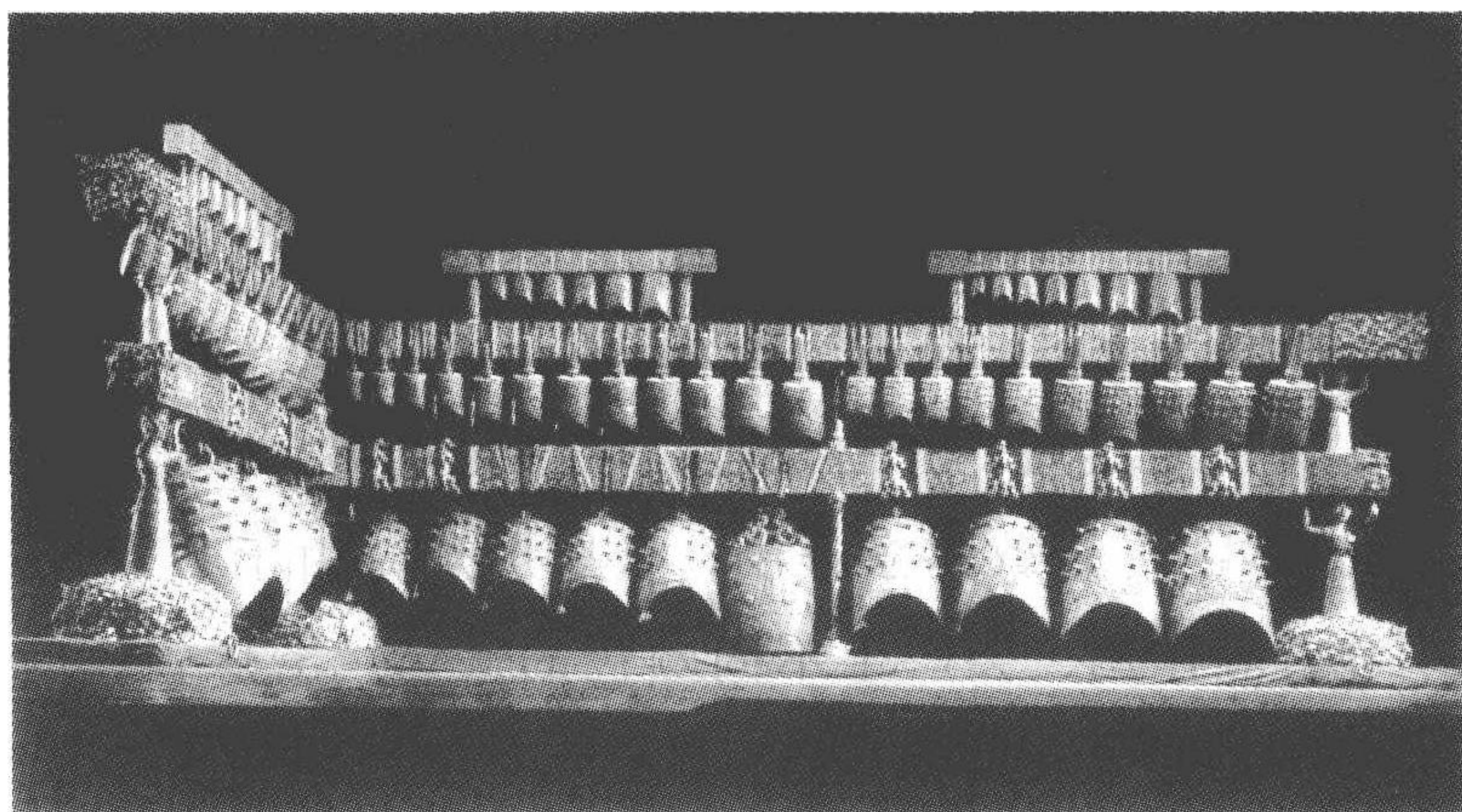
“炉火纯青”是我们常用的一个成语，用来比喻功夫达到纯熟完美的境地。而关于“炉火纯青”的来源，现在通用的一般辞典都说是来源于道家炼丹成功时火焰发青，有

的还加注了“迷信”二字。实际上这一说法是不对的。

成书于春秋末期的《考工记》中，有一段关于观察火焰颜色的变化，以判定青铜冶炼进程的记载，说在冶炼青铜时，铜料与锡料中会先冒黑浊的气，“黑浊之气竭，黄白次之；黄白之气竭，青白次之；青白之气竭，青气次之，然后可铸也。”近代科学证明，金属加热时由于蒸发、分解、化合等作用，会产生不同颜色的气体。冶炼青铜时，原料中所附着的碳氢化合物会燃烧，产生黑浊的气体，随着炉温的升高，原料中所含的氧化物、硫化物等杂质会产生黄白、青白之气，到只冒青气的时候说明杂质基本去除，青铜已经炼成，可以浇铸了。由此可见，“炉火纯青”应是来源于青铜冶炼，而不是炼丹。它是一种经验性的总结，是科学的，而不是迷信。当然，在能用青气判断青铜炼成时，冶炼技术已经相当成熟了。这个经验是经过漫长的岁月，通过无数的生产实践才取得的。

我国大约在四五千年前的新石器时代晚期开始利用铜。考古发现表明，当时已能用冷锻工艺加工天然红铜，并有了初始的青铜冶铸技术。到了商代，青铜冶铸技术已臻于成熟，春秋战国时期更有进一步的发展。人们可以从出土的大量精美的先秦青铜器，例如重达 875 公斤的司母戊鼎，湖北随县出土的大型编钟等，看到当时青铜冶铸技术所达到的高超境界。

从世界范围看，古代美索不达米亚人大约于 9000 年前开始利用自然铜，6000 年前有了铜的冶炼，5500 年前有了



湖北随县出土的曾侯乙编钟

青铜；古埃及大约于 7000 年前开始炼铜，5000 年前有了青铜。相比之下，中国对于铜的利用要晚得多。但中国不像其他古文明地区那样，经过长期炼制红铜的历程，而是在红铜加工出现不久就开始冶炼青铜，并利用青铜熔点低、易于浇铸的特点，使青铜冶铸技术迅速发展起来，很快跨入世界先进行列，创造了举世瞩目的青铜文明。

先秦优秀青铜文明的标志，除大量青铜器外，还体现在已总结出有一定合理性的青铜合金配比规则，即按照青铜器的不同用途的性能要求，配制不同比例的青铜合金。这就是《考工记》中所记载的“金有六齐”，“金”指青铜，“齐”是合金的称谓。

青铜有铜锡合金、铜铅合金、铜锡铅合金之分，《考工记》中说的“六齐”指的是锡青铜的配比。“六齐”为“六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐。五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐。四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐。三分



其金而锡居一，谓之大刃之齐。五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐。金、锡半，谓之鉴燧之齐”。也就是青铜中的含锡量分别为 16.7%、20%、25%、33.3%、40%、50%。这是世界上最早的关于合金配比的经验性总结。

近代科学分析表明，含锡量 17% 左右的青铜，呈橙黄色，外表美观，声响效果较佳，耐腐蚀性好，正好是铸造钟和鼎之类器物所需要的。锡的含量增多，青铜硬度增加，但质地脆而易于断裂；含锡量减少，则青铜硬度下降，但韧性增加。刀、削、矢一类兵器要求有较高的硬度，故含锡量相应较高；而斧、戈、戟之类工具和兵器要求有一定韧性，以提高使用寿命，故含锡量相应偏低。铜镜需要磨光，使呈银白色光泽，要求质硬，不怕脆，故含锡量最高。由此可见，“六齐”大体上正确反映了青铜合金的配比规律。

### 生铁冶铸技术的勃兴

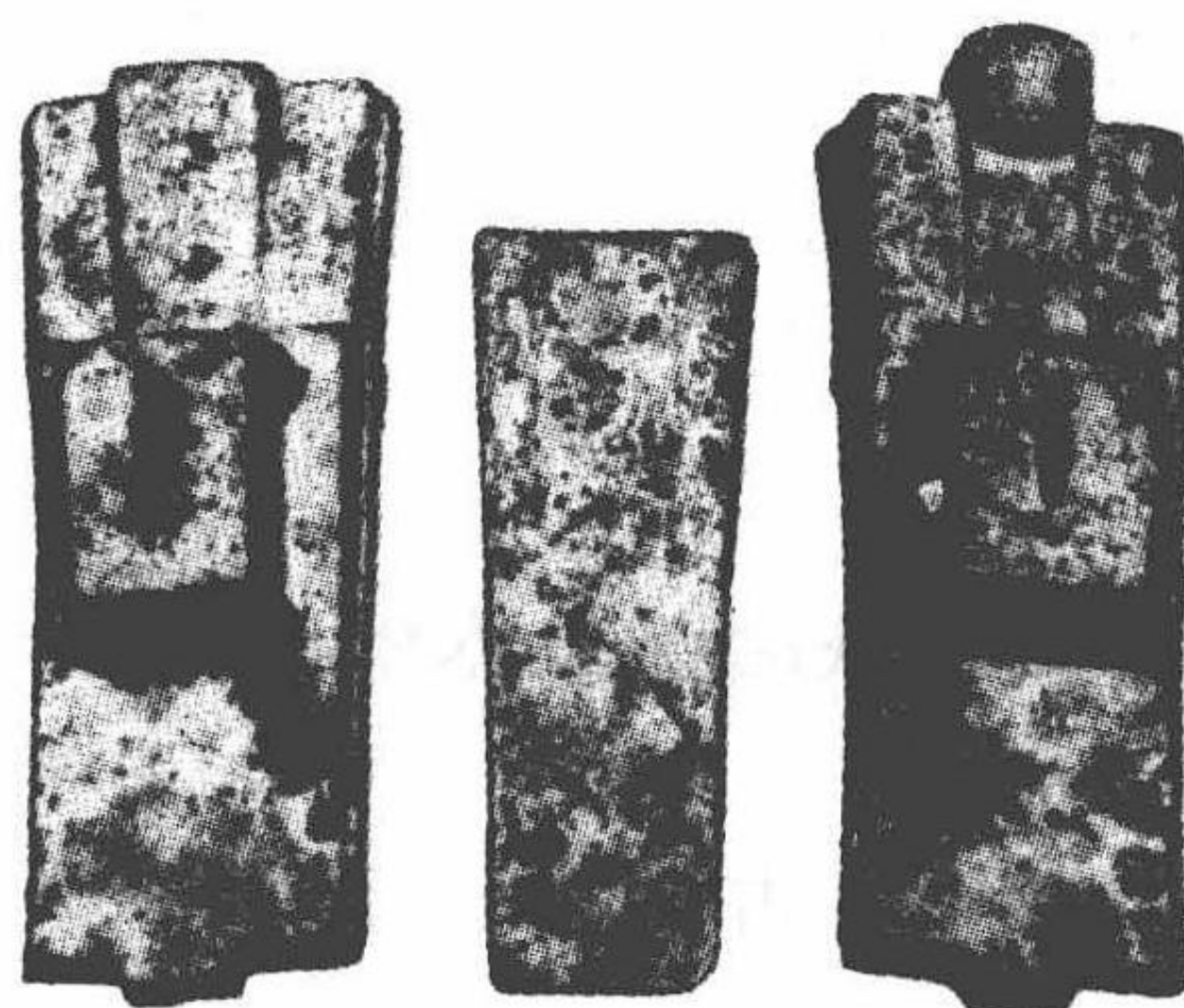
从考古发掘的资料看，大约在殷商时期我国已经利用陨铁，西周后期又出现了用块炼法炼铁，到公元前 6 世纪的春秋晚期便已开始冶炼生铁。

块炼法是一种在比较低的温度下进行炼铁的方法。它用烧红的木炭使铁矿石直接由固态还原成铁，炼得的铁质地疏松，故有海绵铁之称。海绵铁含夹杂物较多，要把它制成铁器，必须经反复加热锻打。生铁是在  $1100^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$  的炉温下，使还原出的固态铁因高温而加快吸收碳



的速度，从而降低了熔点，呈熔融状态，可直接用范浇铸成器。它免除了块炼铁加工费工费时的缺陷，提高了生产效率，降低了成本，使铁器的大规模、高效率生产成为可能。欧洲的一些国家虽然在 3000 年前就已生产块炼铁，比中国早几百年，但它们长期停留在块炼铁阶段，罗马人在公元前后也偶尔炼出生铁，却被作为废品抛弃。直至 14 世纪时，欧洲人才认识到生铁的意义，开始生产生铁。中国则由于很早掌握了生铁的冶铸技术，而后来居上，长期居于世界钢铁生产的领先地位，并成为钢铁的输出国。历史上中国的钢铁除输往邻近国家外，还曾远销古罗马和东南亚。

生铁的最大特点是其可铸性，故又称铸铁。但生铁含碳量高，一般都在 2% 以上，往往又含硫、磷等杂质，因而性脆，韧度低，直接铸造出来的农具、工具和兵器使用时容易断裂。为了弥补这一缺陷，我们的祖先在战国时期又发明了铸铁柔化术。



河北兴隆燕遗址出土的复合铸斧铁范

铸铁柔化术是一种通过热处理使铸铁脱碳柔化的技术。经过柔化处理后的生铁，强度和韧度都增强，成为韧性铸铁，可用以大量铸造优质的生产工具和兵器。这是冶金史上一项划时代的成就，它大大加快了铁器取代铜器的历史

进程，有力地促进了社会生产力的发展，使中国社会迈入一个新的发展时期。

### 从《吕氏春秋》看中国传统农学和耕作技术

《吕氏春秋》成书于公元前 239 年，是当时秦国的吕不韦组织编撰的。该书中的“上农”、“任地”、“辨土”、“审时”四篇，是现存最早的农学专论，体现着中国传统农学和耕作技术特征。

“上农”篇论述农业理论和政策。“上农”即尚农，是重农思想的反映。它从政治和经济两方面阐述了重农对于国家治理的意义。从政治上看，农民有了小块土地，建立小私有经济，就可以被固定在土地上，思想单纯，注意力专一，不会随便离开土地迁徙流动，便于管理和统治，国家有事也便于征调人力和物力。如果舍本（农业）事末（工商业），就容易迁徙流动，一旦国家发生战争等事变，就会有远走之心而无安居之志，而且思想活跃，不利于管理。从经济上说，农业起着保证统治者衣食需求的作用，关系到国家的安定和兴衰。在重农思想指导下，“上农”篇提出了奖励农桑的政策。重农思想和奖励农桑的政策，为后世历代统治者所采用，成为一项基本国策，而工商业则一直受到抑制，无法自由发展。

“审时”篇提出农业生产“为之者人也，生之者地也，养之者天也”，则反映了中国传统农学强调天时、地利、人力三要素有机联系和相互调谐的思想。也就是要人们在顺

应自然的同时，充分发挥人的能动作用，因时制宜，因地制宜，利用和改造自然环境，提高农业生产的水平。在这一思想的指导下，形成了中国农业生产中精耕细作的技术传统。其要点是想方设法从选种、耕翻土地、播种、中耕除草、灌溉施肥、防治病虫害到最后收获，为农作物创造最佳的生长环境，以达到丰收的目的。对此，“任地”、“辨土”、“审时”三篇都有所论及，并提出了一系列的具体方法和措施。

由此可见，中国传统的农学和农业生产技术在战国时已基本形成。后代的农学和农业生产技术都继承了这一传统，并不断得到发展、充实、完善和提高。

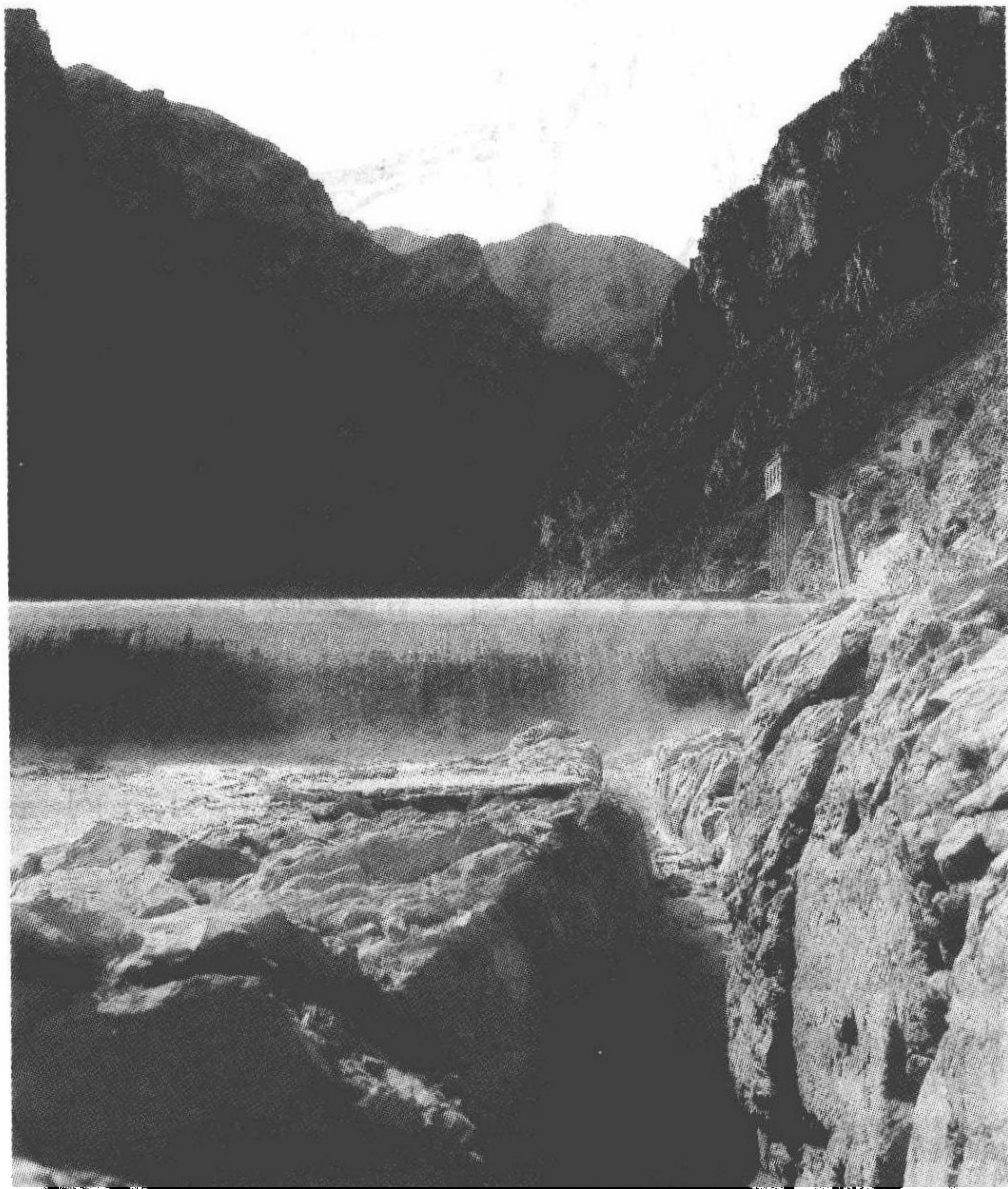
### 治水与水利工程

广为流传的大禹治水故事，大家已经非常熟悉。据古籍记述，大禹治水的结果，不但消除了水害，使先民们从丘陵上搬到平原地区定居，而且可以灌溉农田，发展农业生产，变水害为水利。它反映了水利问题一直是我们祖先非常重视的问题。

春秋战国时期，伴随着铁制工具的应用，农业生产的发展，水利建设也进入了一个新时期。这时期兴修了不少大中型水利工程，著名的有：公元前6世纪末楚国在安徽寿县兴修的芍陂，周长120里，灌溉农田万顷；公元前5世纪魏国西门豹在河南临漳县主持修建的漳水十二渠，使两岸大片盐碱地得到改良，并留下了西门豹揭露恶吏、巫婆所



搞“河伯娶妇”骗局的动人故事；公元前 246 年秦国在陕西泾阳县兴建的郑国渠，把薄瘠的渭北平原变成沃野；以及举世闻名的都江堰。

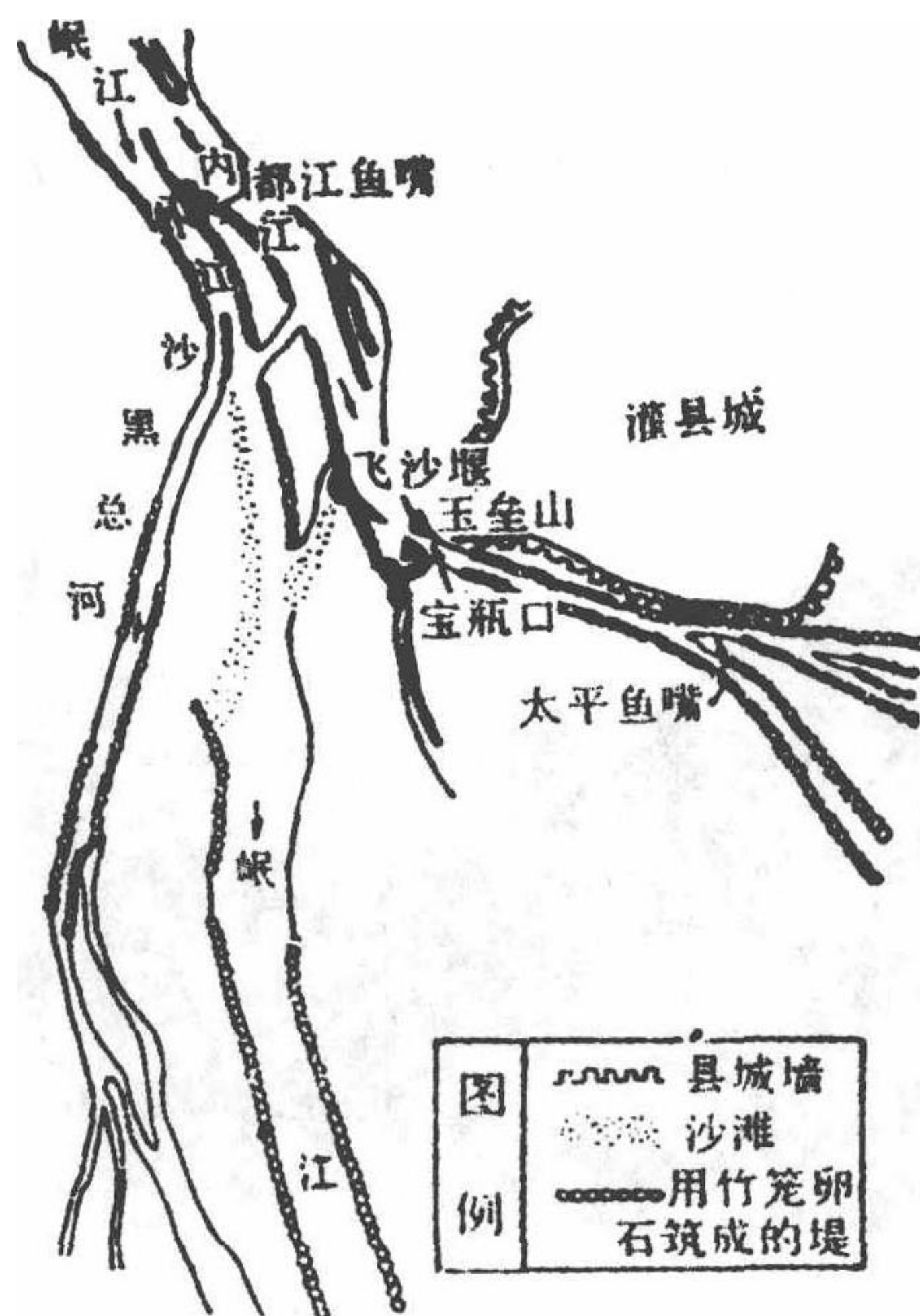


郑国渠引水渠遗址

都江堰位于四川灌县，是公元前 256 年前后由秦国的蜀守李冰父子修建的，至今仍完整保存，发挥着作用。它由分水鱼嘴、宝瓶口、飞沙堰三部分构成。三部分既各自独立，又互为依存，组成为一个有机的整体。

分水鱼嘴又叫都江嘴，设在岷江的中心线上。它的形





都江堰工程示意图

状就像一个迎向岷江上游的鱼嘴巴，把岷江分为内、外两江。外江为岷江的主流。内江水通过堤防进入宝瓶口，流向成都平原，起着航运、灌溉和分洪三大作用。鱼嘴和堤防都是就地取材，用装有卵石的大竹笼叠成。

宝瓶口因形状像瓶口而得名，它是利用人力，硬把石质的玉垒山劈成两半而建成。现南岸陡峭孤立的岩石，叫离堆，就是从玉垒山劈出的。宝瓶口是控制内江流量的咽喉，起着保证有足够水量通过这里，流入成都平原密布的农田灌渠的作用。

飞沙堰是用竹笼装石砌成的低堰，为内江分洪减淤的闸坝工程。当洪水袭来时，内江过多的水就从堰顶溢入外

江；如洪水特大，就会把堰冲垮，让洪水直泄外江，从而保证内江灌区的安全。同时，它又起着减淤排沙的作用。由于宝瓶口壅水，流速变慢，由上游带来的泥沙会在此沉积。但飞沙堰前的一段内江为弯道，产生弯道环流，飞沙堰正处弯道凸岸，这可使挟带泥沙的底流向堰外排沙，减少宝瓶口前的淤积以及流入宝瓶口的水中泥沙的含量。

在内江口还刻有三个石人，矗立在水中，起着水尺的作用。它被用来测定内江的进水流量，为整个工程系统调节水位提供依据，以达到合理分配洪、枯水流量的目的。

都江堰的建成，使成都平原 300 万亩良田得到灌溉，成为旱涝保收的高产田，“水旱从人，不知荒年，天下谓之天府也”（《史记·河渠书》）。后人为了纪念李冰父子的功绩，在分水鱼嘴东边建了一座二王庙，庙中刻着他们的治水遗训：“深淘滩，低作堰。”在离堆上还建有伏龙观，相传李冰曾在这里制服了一条兴波作浪的孽龙，故建观纪念。

### 十进位值制记数法

曾经有一则笑话说，古时有一个人拜师学算，第一天学了一个“一”字，第二天学了一个“二”字，第三天学了一个“三”字。第四天还没有等老师教，他便说：“我已经学会记数了”，于是拜别老师回家。一天，他家来了一位客人，他的父亲便对客人夸耀自己的儿子聪明，三天就学会了记数，并让客人当面考他。客人出了一个大数目让他写，过了半天，见他写得满头大汗还没写完，走过去一看，

只见满纸都划着“一”。问他干什么，他说：“你出的数太大，我还没写完呢！”笑话虽然可笑，但由此也可以想到，如果没有位值制，那么大数的记数法应该如何记述和书写呢？

中国古代的记数方法是十进位值制的，这大约与人类都长有 10 个指头有关。“十进”是指逢十进一，“位值”是指同样一个数在不同位置上表示不同的值。在世界上其他文明古国，如古巴比伦和古埃及，都产生有六十进制的记数法。中国古代虽然没有用过六十进制记数法来进行计算，却也有干支纪日和纪年的制度，以 60 为一个周期。在这些相同的背后，各国之间又存在着差异。中国是最早使用九个数码（见下表）加上十、百、千、万等位值符号来记写任何数字的国家，例如 300 写作𠄎，𠄎则是表示 100 的符号。而古巴比伦 200 以下的记数法主要是相加或累积法，并使用减法，如 19 写成 20 - 1，40 写成 50 - 10；有时也用乘法，如 10 × 100 表示 1 000。古希腊是用 27 个字母的不同组合来表示 1 000 以内的数目。古罗马也用累积法，如 ccc 表示 300。可见中国的十进位值制记数法是最先进和简便的。

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 甲骨 | 一 | 二 | 三 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | + | 𠄎 | 𠄎 | 丨 |
| 金文 | 一 | 二 | 三 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | + | 𠄎 | 𠄎 | 丨 |
| 汉时 | 一 | 二 | 三 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | 𠄎 | + |
| 现在 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 | 八 | 九 | 十 |

中国的十进位值制记数法萌芽于新石器时代晚期，商



周时期已普遍使用，到春秋战国时期已被熟练地应用于计算数学中。后来这种记数法伴随着文化交流传入印度，又经印度传入阿拉伯，再传入欧洲，演变为今天世界通用的印度——阿拉伯数码（1、2、3、4、……）。十进位值制记数法是中国对世界文明的一项不可磨灭的重大贡献，正如英国李约瑟博士所指出：“如果没有这种十进位制，就几乎不可能出现我们现在这个统一化的世界了。”<sup>①</sup>

### 算筹和筹算

今天，人们在作文章和说话时经常用到筹划、筹策、筹码一类带“筹”字的词，实际上“筹”原是一种用于计算的小圆棍，又叫“算筹”。它一般用竹子做成，也有用木或其他材料制作的，直径一分，长六寸（合今13.8厘米）。“算”字也和这种计算工具有关。在我国最早的字典东汉的《说文解字》中，有“算”和“筭（suàn）”两个字，说“筭”是用来计算历法和数目的，它由“竹”和“弄”组成，意思是说摆弄这些竹棍可以使计算准确无误。而“算”字的



西汉·算筹

---

<sup>①</sup> [英] 李约瑟：《中国科学技术史》，中译本第三卷，第333页，科学出版社1978年版。

意思是算数，即用竹具来计算数目。算筹是我国历史上特有的计算工具，《老子》一书说：“善计者不用筹策。”可见至晚在春秋末战国初，我们的祖先就已经掌握了算筹的记数和计算方法。

在算筹记数法里，是以纵横两种摆列方式来表示单位数目一、二、三、四、五、六、七、八、九。

|    |   |   |   |    |     |   |    |     |      |
|----|---|---|---|----|-----|---|----|-----|------|
| 纵式 |   |   |   |    |     | ┐ | ┐┐ | ┐┐┐ | ┐┐┐┐ |
| 横式 | — | = | ≡ | ≡≡ | ≡≡≡ | ⊥ | ⊥⊥ | ⊥⊥⊥ | ⊥⊥⊥⊥ |

其中一至五均分别以纵、横方式排列相应数目的算筹来表示，如四记作||或≡；六至九则用上面的筹以一当五，再加下面的筹来表示，如九记作┐┐或⊥⊥。表示多位数时则是个位用纵式，十位用横式，百位又用纵式，千位再用横式，如此纵横相间，遇零便置空，如8 906记为⊥┐┐┐┐┐┐。这种记数方法，逢十进一，遵循十进位值制。

用算筹计算就叫筹算。筹算的加减法，先将位值对齐，即个位对个位，十位对十位，百位对百位，自左而右，由高位算起。乘法利用九九歌诀。九九歌诀为中国所独创，体现中国语言的优越性，是外国所没有的。用算筹进行乘法运算，方法与后世的珠算留头乘法相同。除法是将商数、被除数和除数依次摆成上、中、下三层而作计算的。筹算方法甚至可以求解一次方程组、高次方程和高次方程组。

在珠算发明之前，我国一直是用算筹进行计算的。而

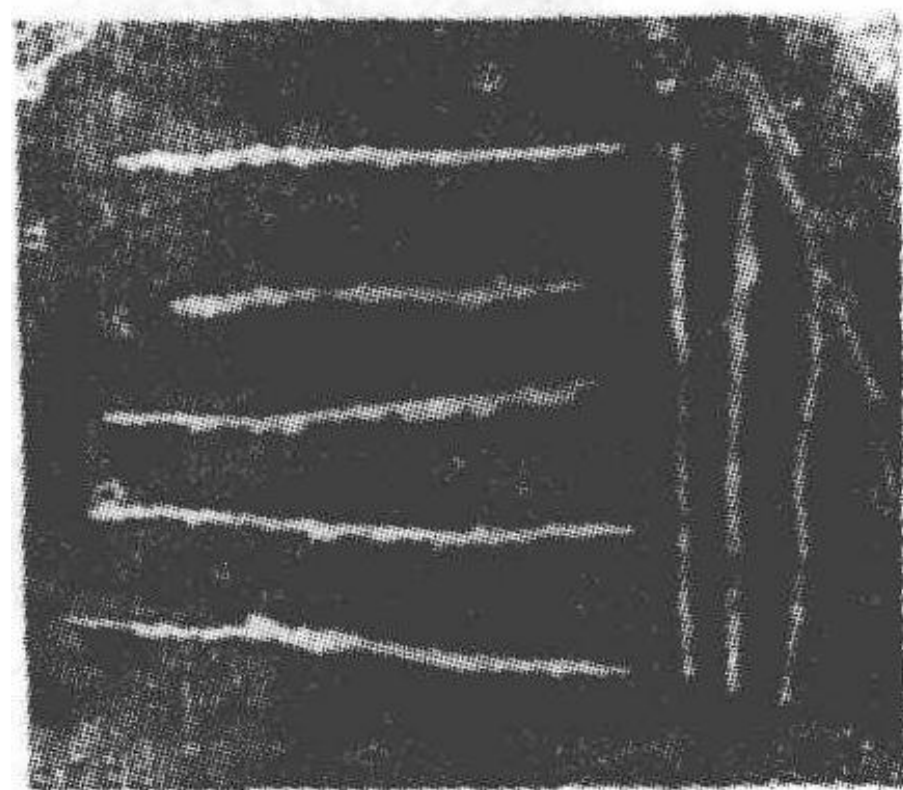
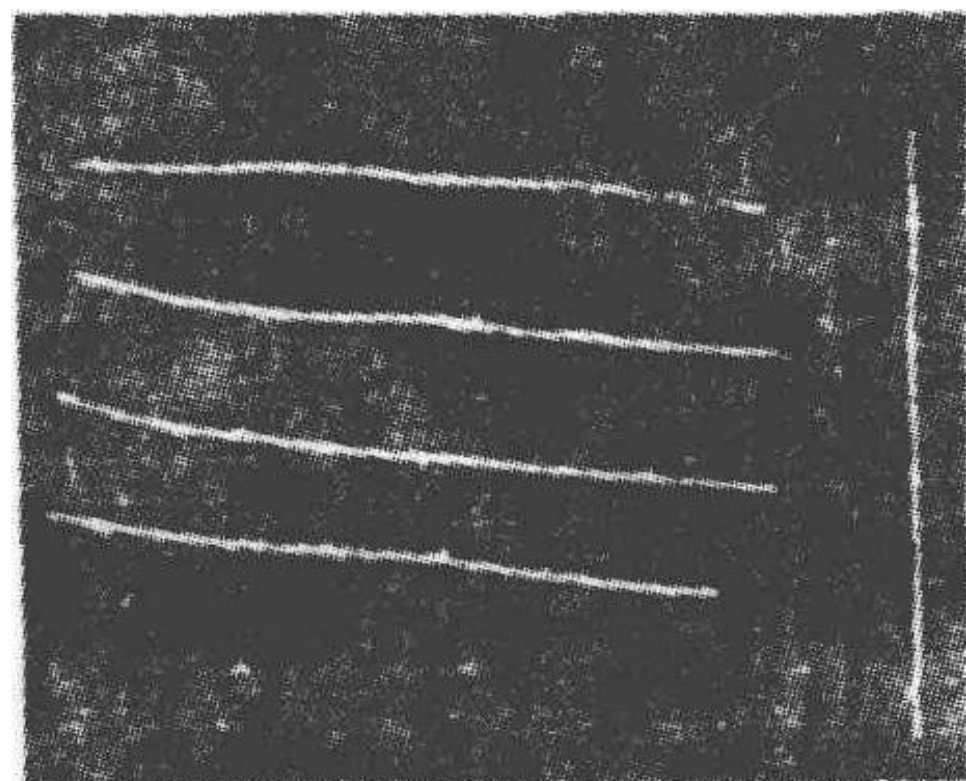
且，筹算在古代是一种相当先进的计算方法，对我国后来形成以计算为特长的传统数学有着很大的影响。

### 规矩与准绳

现在，“规矩”一词常用来表示一定的标准、法则或习惯，形容一个人的行为端正，合乎标准或常理；“准绳”一词则用来比喻言论、行动等所依据的原则

或标准。其实最初规矩、准绳乃是三种画图、测量和检验的工具。“规”就是圆规，“矩”就是直角曲尺，准绳就是一根绳子。传说中，规是伏羲发明的，矩是女娲发明的，也有说规、矩、准绳都是巧工垂发明的。在大禹治水的传说中，说他左手持准绳，右手执规、矩，进行地形测量，才完成了治水使命。

中国古代几何学虽然没有形成像古希腊那样的欧几里得几何学体系，但对几何图形，尤其是圆、方、直等，很早就有所认识。这从新石器时代的陶器器形，建筑遗址轮廓，以及夏商周时期的大量青铜器器形中，都可以看到。规矩、准绳也大致是伴随着这些几何形状而出现的，并成为木工、陶工、车工制作中常用的画形、测量工具。传说夏代的车正（管理造车的官员）奚仲在造车时，方圆曲直



陶纹中的筹算符号





汉武梁祠中的伏羲、女娲执规矩画像

都符合规矩、准绳的标准，因此他所造的车结构合理，坚固耐用，行走快捷。《考工记》中在记述检验车轮是否合格时，要求用规校准轮子是否正圆，用矩检验轮面是否平正，用准绳测量辐条是否平直。直至今今天，一些木工匠人在制作木器时还应用着这三种工具。

在实践经验的基础上，春秋战国时对一些几何图形的认识已开始上升到理性阶段。在当时的著作《墨经》中，

有圆是“一中同长”、方是四边相等并相互间垂直、三点共线为直、两线间的对应点的距离都相等即为平行，以及线由点组成，面由线组成，体由面组成等的定义。遗憾的是，这种理性几何学的萌芽在后世没能得到很好的继承和发展，而是被务实潮流所掩盖。

### 从“小儿辩日”话历法

在一部叫《列子》的古书中，记载有这样一个故事：孔子到东方去游学，路上看见两个小孩在进行着激烈的争辩，便问为什么事争辩？小孩甲说：“我认为太阳在刚升起的时候离人近，而中午时离人远。”小孩乙说：“是太阳刚升起时离人远，而中午时离人近。”甲说：“太阳刚出时像车盖那样大，但到了中午只有盘、盂那么大，这不是因为离得远时小，离得近时大吗？”乙说：“太阳初出时人感到凉，到中午时太阳热得让人感到好像泡在热水中一样，这不是太阳近热而远凉，又是什么？”从这个故事中，可以看到我们的祖先很早就非常注意观测太阳，并探寻着太阳的运行规律。人们从日出日落中，感受到一天的变化；从四季的更替中，感受到一年的变化。人们又从月圆、月缺的周期变化中，产生了月的概念。同时，人们还注意到天空的星象也在变化着，而这种变化也是周而复始，遵循一定规律的。由此，历法诞生了。

我国的历法大约始于新石器时代晚期，经历了夏商周的发展，到春秋战国时已较为成熟。当时采用的古四分历，

定一回归年的时间 $为 365 \frac{1}{4}$  日，一朔望月的时间 $为 29 \frac{499}{940}$

日，19 年设置七个闰月。这些数据在当时世界上是相当先进的。回归年长度数值只比真值多 11 分钟，罗马人于公元前 43 年采用的儒略历也用这个数值，比我国约晚 500 年。19 年七闰法，古希腊的默冬是在公元前 432 年发现的，比我国晚了百年左右。我国后世的历法，都是在古四分历的基础上发展起来的，并不断加以修正、改进。人们习惯于称我国的传统历法为阴历，这种说法其实是不对的，实际上我国传统历法是阴阳合历，即年采用地球绕太阳公转一周的长度，月采用月亮（又称太阴）绕地球公转一周的长度。

同时，我国传统历法又与农业有着密切的关系。为了更精确地反映季节的变化，在历法中把一年平均分为 24 等分，即平均 15 天多设置一个节气。节气的设置是中国传统历法所特有的，它使人们更便于正确地掌握农时，安排农事，对农业生产有着指导性作用。因此，中国的传统历法又被称做农历。

### **《墨经》中的光学和力学**

《墨经》原是《墨子》一书中的“经上”、“经下”、“经说上”、“经说下”四篇，后人把其单独成书，并名为《墨经》。关于《墨经》的作者，现在还存在着争议，有人认为“经上”、“经下”是墨子自著，“经说上”、“经说下”



是墨子及门弟子记录师说而成；也有人认为四篇都是战国后期墨家后学的作品。但撇开其作者不说，单就内容而言，史学界都认为它是先秦一部重要的科学典籍。其科学内涵非常丰富，除上面提到的几何学外，突出的还有光学和力学。

《墨经》中记载有我国最早的小孔成像实验：在一间小屋向着阳光的一面墙上开一个小孔，人对着小孔站在屋外，在阳光的照射下，屋里相对的墙上就会出现一个倒立的人影。对此，《墨经》中解释说，这是由于光穿过小孔时如射箭一样，是直线行进的，人的头部遮住上面来的光线，故成影在下方，而人的足部遮住下面来的光线，故成影在上边，这样便形成倒立的影像。这既明确地阐述了光的直线传播原理，又科学地解释了小孔成像的原理。

对于凹面镜、凸面镜、平面镜的成像问题，《墨经》都作了较系统的研究和探讨。现在人们都知道，凸透镜对着太阳可以聚焦取火。在先秦时期我国没有玻璃透镜，但却有大量的铜镜。当时人们已经发现，凹面镜能够聚焦取火，故又叫它阳燧，用其取火，是一个重要的人工取火方法。《墨经》中对凹面镜成像原理作了一系列的考察，指出在凹面镜球心之外，物体所形成的像是倒立的，比原物小；在球心之内，则像正立，比原物大。《墨经》中还指出，凸面镜所形成的像都是正立的，比原物小；而平面镜所成的像与原物一样大，但左右互为倒置。把《墨经》的这些阐述与近代几何光学相对照，除了它尚未能把焦点与球心区分

开外，其他的内容则是一致的。

对于运动物体的影子问题，《墨经》中也有精辟的论述。它指出运动物体的影子并没有跟随物体而运动，这是因为物体运动后所出现的影子是新形成的，而原来的影子已在物体运动后消失，看起来好像影子也在运动，其实只是新旧影子在不间断地相互更替而已。《墨经》中还考察了本影和半影的问题，并有符合科学的解释。在 2000 多年前，能有这样的成就，是很了不起的。

在力学方面，《墨经》中给出了力的定义：“力，刑（古通形）之所以奋也”，意思是说力是人体所具有的使物体运动的手段，如由下向上举重物，就是力的作用。它从衡器的平衡中，得出了杠杆原理，即  $\text{力} \times \text{力臂} = \text{重} \times \text{重臂}$ 。对于运动、静止、浮力、重心、斜面等力学问题，《墨经》中也都有相当精辟的记述，这里就不一一列举了。

### 墨家的认识论和时空观

对人类生息繁衍于其中的自然界的探讨，是先秦诸子百家学术争鸣和学术繁荣局面中的一个重要侧面。在这个方面，墨家独树一帜，建立了自己的自然观和宇宙论，并力图从理性认识的高度来进行总结，提出了许多具有科学价值的见解。这里仅介绍《墨经》中所反映的墨家认识论和时空观。

墨家首先反对老子提出的“有生于无”的思想，明确提出世上万物都始于“有”的主张。这个“有”是客观存

在，独立于人的意识之外的。物体的性质是依附于物体的客体而存在的，离开了客体，物体的性质也就不复存在。如“坚白”是石的性质，不能离开石而存在。而且，坚与白是同时存在，不能分离的，石不会只坚不白，也不会只白不坚。人抚石之时，感知其坚，但白并不是不存在；当人视石之时，感知其白，坚亦不是不存在。人对坚白的感觉，是石的性质的反映。由此，墨家建立了认识论中的反映论，即人的认识是客观事物的反映。

那么，人是如何认识客观事物的呢？墨家认为人之所以为人，是由于人具有认识能力，能够求取知识。人的生命力在于形体与知识的统一，求取知识是人的本能。在墨家看来，离开了知识的单纯形体，是没有生命的东西，不过是行尸走肉而已。墨家总结了三条认知的基本途径，即闻知、说知和亲知。闻知又分为传闻和亲闻，但不管是传闻或亲闻都不应当是简单地接受，而必须消化并融会贯通，使之成为自己的知识。说知，则包含有推论、考察的意思，指由推论而得到的知识。亲知，则指由五官亲历而得到的知识。而亲知亦不能只停留在表面的感知，还要求把得到的知识进行综合、整理、分析和推论，方能求取真知。由此可见，墨家关于人的知识来源的认识是相当全面和深刻的。

在时空观方面，墨家也有独到的认识。墨家认为时间是包括古今早晚的一切时间，空间是包括东西南北中的一切空间，它们都是连续的、无限的。而这连续、无限的时



空又是由小得不能再分的时间元“始”、空间元“端”所组成。由此便构成了时空既是连续的，又是由不可再分的最小单元组成的，无限中包括着有限，连续中包含着不连续。墨家的这一时空观是极其深刻和高明的，与现代科学的时空观基本一致。

## 阴阳与五行

宇宙最初天地混沌在一起，有一个力大无比的神叫盘古，用巨斧开天劈地，才把天地分开。他死后头变成四岳，眼睛变成日月，脂膏变成江河，毛发变成草木。又有一个女神叫女娲，用土捏成人的形状，并赋予他们生命，于是地球上有了人。这些美丽的神话故事，反映了先民们很早就对天地万物和人本身的来源非常关心，并努力地探求其答案。

在先秦时期，随着文明的进步，也产生了很多关于宇宙万物起源的理论，其中对后来传统科学文化影响较大的有阴阳和五行学说。

阴阳学说诞生于殷周之交。人们从日常的生活感受中，如男女、雌雄、生死、阴晴、日月、昼夜、寒暑等等现象中，即“近取诸身，远取诸物”（《易·系辞》），萌生出了关于阴和阳的概念。由此进而认为，天地万物的生成、活动、变化，都是由阴阳二气的相互作用而产生的。

五行学说也产生于殷周之交，它认为世上万物是由金、木、水、火、土五种基本元素所构成。古希腊有水、空气、

火、土四元素说，古印度有地、水、火、风四元素说。虽然各国之间的说法有异有同，但都是用日常生活和生产所熟悉的事物来解释万物的起源。

到了春秋战国时期，阴阳和五行学说都得到了发展，并开始被结合在一起，成为解释世上事物产生和变化的一种理论。在《管子·四时篇》中，提出了“风、阳、阴、寒”四种气流转而形成四时，并且产生四种构成万物与人体的基本要素。风是春季的气，产生木与骨；阳是夏季的气，产生火与气；阴是秋季的气，产生金与甲；寒是冬季的气，产生水与血。此外五行中的土兼配四时，它产生了人体的肌肤。这样，由气到四时、五行，便组成了一个完整的自然体系。而阴阳家则把阴阳五行学说从自然扩大到人事，使其带上了神秘的色彩。

阴阳五行学说对于传统医学、天文学、数学、农学以至地学、建筑学等，都有着深刻的影响。直至现在，它仍是中医学的重要基础理论之一。

### **医学经典《黄帝内经》**

在传说中，中医学是黄帝和他的大臣岐伯所创立的，所以后世把黄帝和岐伯尊为医祖，甚至把中医学称之为岐黄之术。《黄帝内经》便是以黄帝和岐伯问答的形式写成的，约成书于战国晚期（一说汉代）。

《黄帝内经》包括《素问》和《灵枢》二部分，以论述人体解剖、生理、病理、病因、诊断为重点，兼述针灸、



经络、卫生保健等方面的内容，是中医学的一部著名经典著作。它奠定了中医学的理论基础，至今仍是学中医的人所必读的典籍之一。

《黄帝内经》把阴阳五行学说引入医学，使其成为医学的基本理论。书中说：“阴和阳，是天地的根本法则，是万物的纲纪，是变化的父母，是生与杀的本始，是精神寄藏的寓所，所以治病就要探求阴阳这个根本。”由此，书中提出对于人体健康，最根本的是要保持阴阳的平衡，如果阴阳失去了平衡，人就会生病。治



《黄帝内经素问》书影

病疗疾的宗旨，就是用各种方法使破坏了的平衡重新恢复起来。同时，《黄帝内经》把人体视为一个完整的整体，各部分的器官都是有机地联系在一起的。某部分发生病变，将会影响到全身及其他器官，而全身的状态也可能影响局部的病理变化。五行在书中也得到充分应用，五行的相生、相克、相乘（有乘虚侵袭之意）、相侮（有恃强凌弱之意），被用来论述人体疾病的各种起因。书中说：“五行者，金木水火土，更贵更贱，以知死生。”这里的“贵贱”是指盛衰



的意思，就是说以五行的盛衰来观察身体的健康与疾病。

《黄帝内经》对人体与外部环境的关系也非常重视。它强调指出，人的身体状况与四季变化、昼夜交替、地理水土、社会生活以及精神状态等都有着密切的联系，因此在诊断和治疗中也必须考虑这些因素，因时、因地、因人分别施治。这一诊断和施治的指导思想，已为现代医学和生物学所证实。

### 名医扁鹊

公元前 5 世纪左右的春秋时期，我国有一位著名医学家名叫扁鹊。他原名叫秦越人，渤海鄚（mào）（今河北任丘县）人，是一位医术很高明的民间医生，足迹遍及今河北、河南、山东、陕西一带。

扁鹊擅长于望诊和切诊，作为检查人体的重要手法，他在诊断上采用了望色、闻声、问病、切脉的四诊法。从此，四诊法成为中医学的最基本诊断方法。而且，他还创立了脉诊的理论脉学。《史记·扁鹊传》中说：“至今天下言脉者，由扁鹊也。”反映了他在脉学发展史上的地位。

在治疗上，扁鹊采用了砭（biān）石（一种用于放血疗法的工具）、针灸、按摩、汤液、熨贴（热敷）、手术、导引等方法，并经常采用多种方法兼用的综合治疗，收到了良好的医疗效果，其中的一些方法至今仍在沿用。导引术在当时是一种很盛行的治疗方法，是呼吸运动和躯体运动相结合的医疗体育，可说是运动医学的肇始。

扁鹊在医疗实践中，还提出了“病有六不治”的原则。其中有一条“信巫不信医”的不治，反映了他提倡医学，反对巫术迷信的鲜明立场。这在当时巫术迷信非常盛行的时代里，是很了不起的。可惜的是，这位一代名医却在去秦国行医时，因秦国的太医令（管理医疗卫生的官员）李醯（xī）的忌恨，而被刺杀。后人为了纪念他，尊他为“医学祖师”。直到现在，山东、河南、河北等地还有一些纪念他的遗迹，如鹊王山、扁鹊庙等。



神医画像石

### 第三章

# 中国传统科学技术的形成

(秦汉—南北朝时期，前 221 ~ 581)



公元前 221 年，秦始皇统一了六国，结束了春秋战国时期诸侯割据的局面，建立了统一的大帝国。接着汉代兴起，中国大地上一统天下的局面持续了 400 多年。在这 400 多年中，中央集权型的政治体制，以农为本的经济结构，以儒学独尊的统治型思想和文化，都已确立，并影响于后世。

三国两晋南北朝时期，除西晋短暂的统一外，一直呈现着分裂的局面。但各分立的政权都继承了汉代的政治、经济、文化体制和结构，并加以充实和完善。

这时期，科学技术也在前代的基础上继续得到发展和完善，形成了具有鲜明特色的科学技术传统。这一传统科学技术的标志，体现在天文学、历法、数学、地理学、制图学、农学、医药学等领域的基本理论的建立。这些基本理论及其应用方式，都有别于世界其他的古代文化区域，而且带有浓厚的经验性和实用性。同时，传统科学技术较为发达的领域都与治理国家的政务息息相关，受到中央政权的重视，甚至在中央政府中建立了相应的管理机构。一些官员也由于治国的需要而从事科学工作，成为杰出的科学家。由此，又产生了中国古代科学技术中的一个特有现象，即知名的科学家，或者说能著书立说的人，大都是官员，或做过官的，有些甚至是尚书、宰相一类的大官。而一般的工匠则往往由于文化水平较低，只能停留在言传身

教的工艺技术传统状态，对技术中的科学原理，无力进行思考和总结。中国传统科学技术的这些特点，一直延续到近代。

### 千锤百炼 百炼成钢

春秋晚期，我国就有钢制品问世。1976年，在湖南长沙出土有一口当时的钢剑，是含碳量0.5%~0.6%的中碳钢，经反复锻打而成，表明当时已有炼钢工艺。早期的炼钢工艺，是把海绵铁直接放在炽热的木炭中加热，使其表面渗碳，再经锻打而成渗碳钢。炼钢技术的出现，提供了更加牢固、锋利的工具和制品，是冶炼技术的一项重大成就。

但是，早期的炼钢工艺只能制造小件物品，而且费时费力，产量低，质量也没有保证，难以满足社会对于钢制品的需求。面对大量生产出来的生铁，如何提高它的品质，成了冶炼匠师们关注的问题。终于在西汉中晚期时，取得了重大的技术突破，发明了炼钢的新工艺——“炒钢”。所谓“炒钢”（也有称“炒铁”），就是把生铁放在炒钢炉中加热，使其熔化或基本熔化，并不断搅拌，增加氧气与生铁的接触面，使生铁中的碳氧化，而脱碳成钢或成熟铁。这就把生铁冶炼与炼钢（或熟铁）两大过程沟通起来并结合在一起，组成了一个有机的冶炼系统，可以连续地并大规模进行生产，从而大大提高了生产效率，降低了成本，使钢铁制品易于推广普及。因此，它的出现改变了整个钢

铁生产的面貌，是冶金史上具有划时代意义的重大事件。

炒钢法的发明，促进了百炼钢技术的发展和成熟。东汉至南北朝时期，最精良的钢就被称为百炼精钢或百炼钢。它以炒钢作原料，经过数十次以至上百次的反复加热和折叠锻打，而成为组织致密、成分均匀的优质钢材。用百炼钢制成的刀剑锋利异常，被视为宝刀、宝剑。东汉建安年间（196~220），曹操曾令工匠造宝刀五把，三年才造成。他自己留下两把，三个儿子各分一把。曹植为此特地写了一篇《宝刀赋》，称其“陆斩犀革，水断龙舟”，锋利程度超过著名的宝剑巨阙、太阿。

炼钢技术的另一重大成就是灌钢技术的发明。它大约起源于东汉末，至南北朝时期已基本成熟。其工艺过程大致为，将熔化的生铁与熟铁块合炼，生铁中的碳会向熟铁中扩散，并趋于均匀分布，且可去除部分杂质，而成钢材。北齐时的冶炼专家綦（qí）母怀文就是用这种方法制造“宿铁刀”，其锋利可以“斩甲过三十札”（《北史·綦母怀文传》）。在坩埚（gān guō）炼钢法发明之前，灌钢法是一种最先进的炼钢技术。

生铁冶铸连同这些先进的炼钢技术，一直为后世所承袭。中国之所以能在历史上长期居于世界钢铁生产的领先地位，是与它们所提供的技术保证分不开的。

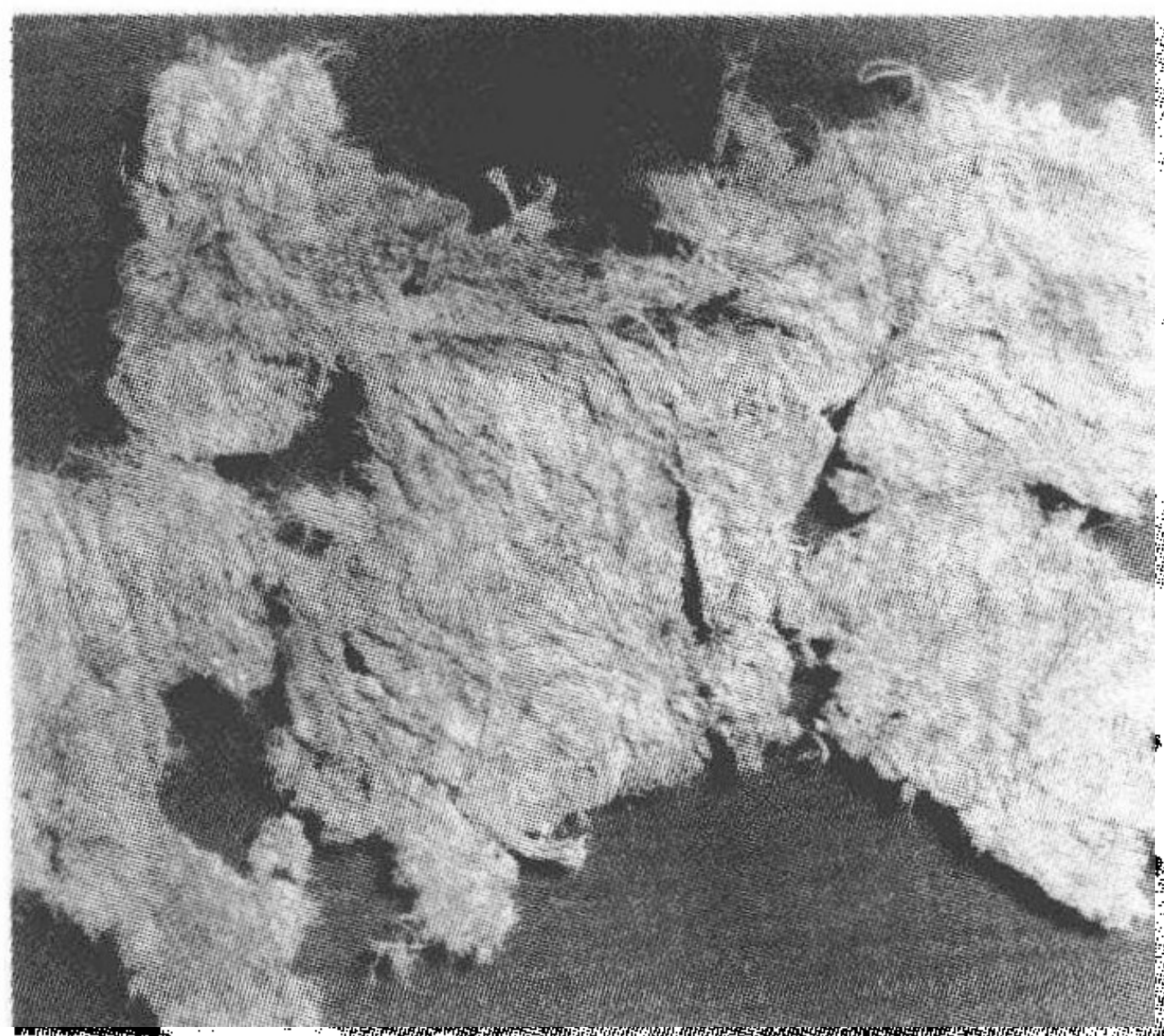
## 西汉古纸和蔡伦造纸

过去人们一般都认为，纸是蔡伦发明的。其主要依据



是《后汉书·蔡伦传》中说的：“自古书契多编以竹简，其用缣帛者谓之纸。缣贵而简重，并不便于人。伦乃造意，用树肤、麻头及敝布、鱼网以为纸。元兴元年奏上之，帝善其能，自是莫不从用焉，故天下咸称‘蔡侯纸’。”但是，

近年来的考古发现，如1933年在新疆罗布淖（nào）汉代烽燧亭故址出土有一张古纸，同时出土的有黄龙元年（前49）的木简，表明古纸是西汉遗物；1957年在西安灞桥发现一叠古纸，年代在公元前



敦煌马圈湾纸

118年前；1973年在甘肃居延发现两团古纸，年代约在公元前73～前149年；1979年在甘肃敦煌马圈湾发现古纸五件八片，为公元23年以前的遗物；1986年在甘肃天水放马滩发现一张古纸，上面绘有天水一带的地形图，是公元前2世纪时西汉早期的遗物等，改变了人们的认识。这些出土的古纸都是麻纸，表明我国至迟在公元前2世纪时，就已经以麻作原料制作纸张了，从而把我国的造纸史向前推进了200多年。

蔡伦作为纸的发明者的历史地位虽然被否定了，但是他在造纸技术上的丰功伟绩却不应也不可能被抹杀。在蔡伦之前，纸张都很粗糙，麻纤维捣得不够烂，纤维在成纸

时分布不均匀，因此不便于书写，大都只是用来包装物品，虽偶有用于书写，但在文化的传播上还没发挥积极作用。而蔡伦所造的纸品质大为提高，成为价廉质优的书写材料，深受人们的欢迎，因而很快大量生产，使造纸术迅速普及，纸张“自是莫不从用”。而且蔡伦首先发明了用树皮造纸的方法，大大地扩展了造纸原料的来源。因蔡伦于公元 114 年被封为龙亭侯，故他主持制造的纸张被称为“蔡侯纸”。

造纸的工艺过程大致为：沤泡原料，即把要造纸的植物纤维放在水中浸泡，使其脱胶；打浆，即把植物纤维切碎，捣烂，使其帚化，在打浆之前一般加石灰水并加温促烂；捞纸，即用帘床捞取纸浆，使纸浆均匀分布在帘床上，成为湿纸；风干，取下湿纸，让其自然风干，后来发展为烘干，即成纸张。

自从蔡伦改进了造纸技术，提高了纸张质量以后，纸张便逐步地代替了我国原先使用的竹木简和缣帛，成为我国历史上主要的书写材料。自汉以后，我国的造纸技术不断地改进和发展，造纸原料的范围扩展到藤、竹、稻草等，纸张的品质也逐步提高，并出现了蜡笺、冷金、错金、罗纹、泥金银加绘、研花等一大批名贵的工艺纸。

纸张不但在中国引发了一场书写材料的革命，而且随着中外文化的交流，先后取代了埃及的纸草，印度的树叶，以及欧洲的羊皮，引起了世界性的书写材料变革。中国的这一伟大发明，对于世界文明的发展和文化交流所做出的贡献是难以估量的。

## 独领风骚的万里长城

万里长城是举世闻名的世界建筑奇迹之一，被视为中国古代文明的象征。

长城已有 2000 多年的历史，它的修筑是从战国时期开始的。当时的秦、赵、魏、齐、燕、楚等诸侯国，为防御北方游牧民族南侵和各国的自卫都兴建了长城。秦始皇兼并六国后，为了防范北方匈奴的突然袭击，于公元前 213 年发起了修筑长城的巨大工程，把秦、燕、赵、魏的原有长城连接起来，并加以扩建。整个工程共征用民工 30 万人，连续花了 10 多年方告完成，建成了西起甘肃临洮（今岷县），沿着黄河到内蒙临河，北达阴山，南到山西雁门关，东抵辽东的长城，全长达 3 000 多公里。

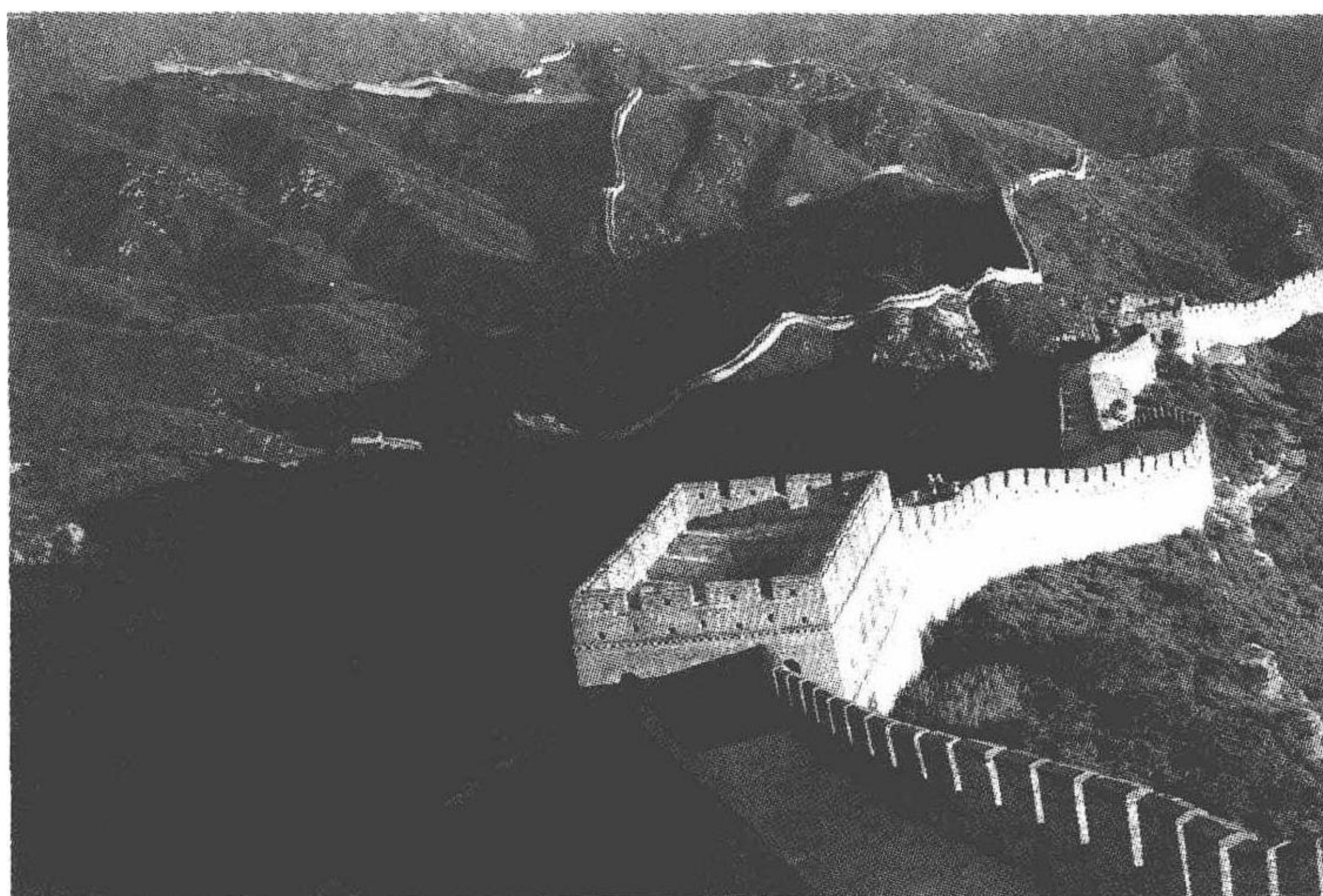
汉代除重修了秦长城外，又修筑了内蒙古河套南的朔方长城，以及凉州西段长城。凉州西段长城北起内蒙古居延海（今额济纳旗境内），沿额济河，经甘肃金塔，西到安西、敦煌、玉门关进入新疆。据居延出土的汉简记载，长城“五里一燧，十里一墩，卅里一堡，百里一城”，构成了一个严整的防御体系。

汉以后的北魏、北齐、隋、金等朝代都对长城进行过部分修建，到了明代则进行了全面的重修。明代所修长城西起嘉峪关，东至山海关，全长约 13 000 华里。整个重修过程前后达 100 多年，可见工程的浩大和艰巨。现在人们所看到的长城，主要是明代重修后的长城，以前的长城则只



剩下一些遗迹了。

绵延万余里的长城穿越在崇山峻岭、流沙、溪谷等险峻地段之上，工程之艰巨是难以想象的，表现了中华民族的磅礴气概和聪明才智，也反映了中国古代测量、规划设计、建筑、工程管理以及军事技术的高超水平。



八达岭长城

### 探索宇宙结构的“言天三家”

我们的祖先很早就关心宇宙的结构问题，并一直进行着探索，提出了各种各样的构想，以试图对所看到的天文现象给予解说。“杞人忧天”的故事反映的就是人们对这个问题的关心和一种解答。“杞人忧天”的故事记载在《列子》中，说的是杞国（今河南、山东接壤一带）有一个人，听说天是无限高远的空间，日月星辰都在天空中飘浮着，他担心日月星辰会掉下来，打坏庄稼砸死人，甚至怕大地

也会陷下去。为此，他整天忧心忡忡，愁得吃不下饭，睡不着觉，不知如何是好。有一个好心人担心他愁坏了身体，便拉着他去问懂得天地道理的人，给他解释说，天是气体结合而成的，到处都充满了气体。日月星辰也是气体构成的，只是它们会发光而已，即使掉下来，也是气落到气中，不会有什么损伤的。而地是固体的，到处都塞满了，是不会坏的。于是，杞人转忧为喜。

这里说的，其实是一种关于天为什么不坠，地为什么不陷的看法。关于这个问题，先秦时还有很多看法，例如有四只鳖足撑着天、海龟驮着地的神话传说，诸子百家中提出的水浮说、气举说、运动说等。及至汉代，则形成了“言天三家：一曰盖天，二曰宣夜，三曰浑天”（《晋书·天文志》）。

盖天说在西周时就已经提出，认为“天圆如张盖，地平如棋局”（《晋书·天文志》）。也就是说天是圆的，地是方的，现在人们在北京天坛圜丘所看到的布局，就是这种天圆地方思想的反映。战国时期盖天说又修改为“天似盖笠，地法覆盘”（《晋书·天文志》），即天像盖在上面的斗笠，地像倒扣着的盘子。到了汉代，盖天说又有进一步的发展。成书于公元前1世纪的《周髀（bì）算经》就是这一学说的代表作。它用繁杂的数字计算和勾股定理，来论证天是半圆形的，地是拱形的，日月星辰附着天而平转，不能转到地的下面，并使这一学说系统化和数学化。

宣夜说的起源已无从得知。这一学说认为，“天了无

质，仰而瞻之，高远无极”，“日月众星，自然浮生虚空之中，其行其止皆须气焉”（《晋书·天文志》）。也就是说，并不存在一个有形质的天壳，天是无形无体、无边无际的。日月星辰在广阔无垠的空间中的分布和运动是随其自然的，它们并不附着在有形质的东西上面，而是依各自的特性，在气的作用下，悬浮于空中，运行于空中。这一学说包含有宇宙无限的思想，而且其所描绘的日月星辰的运动图景比较接近于我们今天所认识的宇宙，但因它长期停留在思辨的认识上，没能对天体的运动进行具体的分析和说明，所以对后世的影响远不如浑天说。

浑天说起源于战国时期，到了汉代有很大的发展，渐为人们所接受。东汉科学家张衡是浑天说的集大成者，他的著作《浑天仪注》便是浑天说的代表作。书中指出：“浑天如鸡子。天体圆如弹丸，地如鸡子中黄，孤居于内，天大而地小。天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。”也就是把天看成一个浑圆的壳，而地是居于天壳中间的一个圆球。浑天说还认为日月星辰缀在天壳之上，随天壳绕着穿过南北天极的轴转动，是一种以地球为中心的宇宙结构理论。

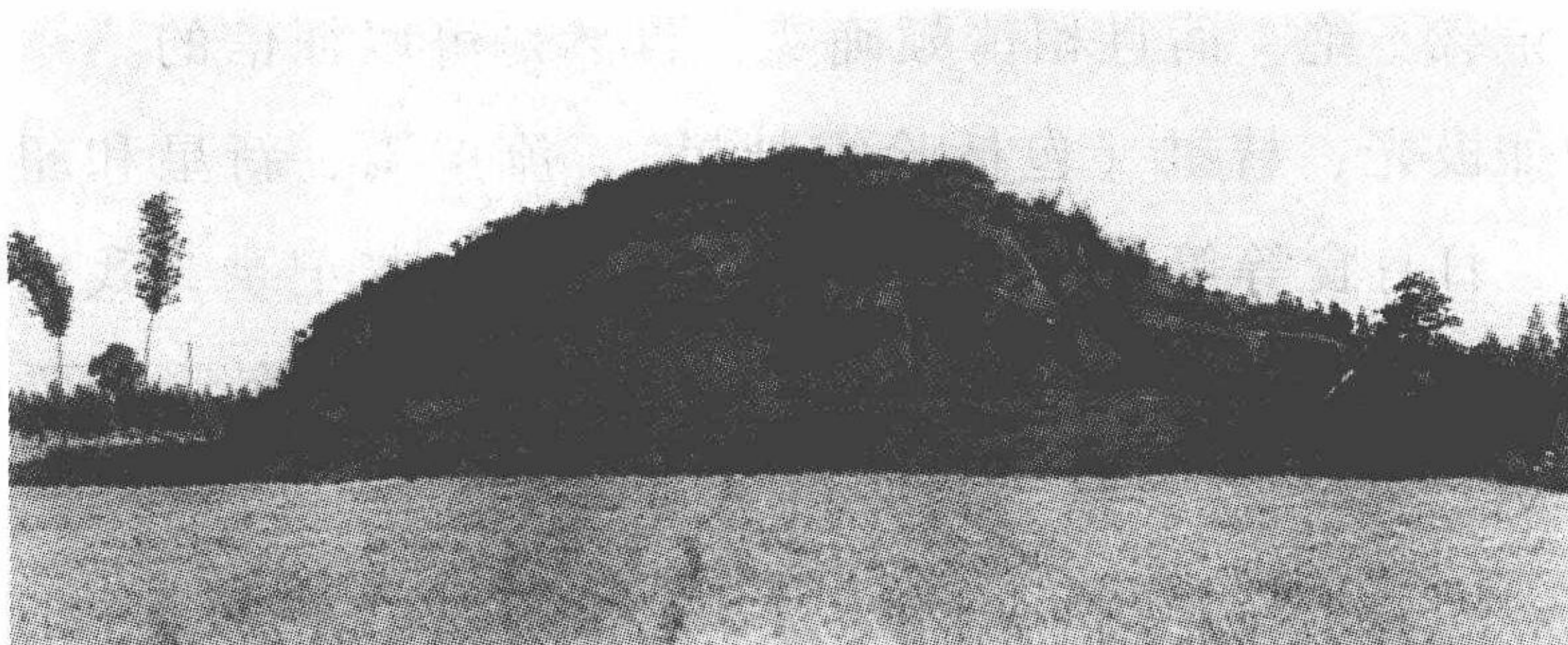
这三种宇宙结构理论后来都有人继承和发展，但以浑天说的影响最大，居于古代宇宙理论的主导地位。

### **“灵台”故址话天文**

在洛阳城东“汉魏故城”遗址的南郊，有一座巨大的



夯（hāng）土台，这就是东汉国家天文台——灵台的故址，它始建于汉光武帝中元元年（56），距今已有 1900 多年。灵台故址范围 44 000 平方米，东西有夯筑的墙垣。墙垣内有一座方形高台，残存高度八米多，台基长宽约 50 米见方。在夯土台的四周，各有上、下两层平台。下层平台周围原有环筑回廊，北面有坡道可通上层平台。上层平台四面各有五间建筑，原是观测人员整理观察记录的衙署。高台中心台顶“上平无屋”，是观测天象的场所。



汉魏灵台遗址

在历史上，统治者都是相信天命论的。他们认为天是有意志的，天把地上的权力交给帝王，帝王要按照天的意志管理国家。天空的异常天象代表着天的意志，如果帝王治国有方，天空就会有祥瑞的现象表示嘉许；如果帝王无道或治国不力，天空就会有灾异现象表示警告或惩罚。因此，历代政府都设置了天文台，派专人负责，日夜不停地观测天象，并作记录。据史书记载，东汉灵台就有 43 人供职。

正是历代天文工作人员的辛勤工作，为我们留下了大

量的观测记录。现在全世界公认，中国历史上的天象记录是最完整、最系统、最丰富的。例如，《汉书·五行志》记载：“成帝河平元年……三月己未，日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”汉成帝河平元年即公元前28年。这是最早有明确的太阳黑子出现的时间、形状、大小和位置的观测记录，从汉至明的1600多年中，太阳黑子记录超过100次。美国的一位天文学家曾指出：“中国古人测天的精勤，十分惊人。黑子的观测，远在西方人之前大约2000年。历史记载不绝，而且相传颇确实，自然是可以征信的。”<sup>①</sup>其他如极光、彗星（包括哈雷彗星）、流星雨、新星和超新星、日月食等等，也都有大量的记录。这些记录为我们提供了极有价值的历史资料，对于现代天文学有着重要的意义。

### “无坚不钻”的科学家张衡

前面已经说到张衡是浑天说的集大成者，这只是他的科学工作的一个方面。他是东汉时的杰出科学家，有着多方面的科技贡献，同时他还是著名的文学家。

张衡，字平子，南阳（今河南南阳）人，生于公元78年，卒于公元139年。从青少年时代开始，张衡就非常勤奋地学习各种知识。为了增长自己的学识，青年时期便游学故都长安（今陕西西安）和国都洛阳。从此，他养成了好

---

<sup>①</sup> 转引自《中国古代科技成就》，第13页，中国青年出版社，1995年版。

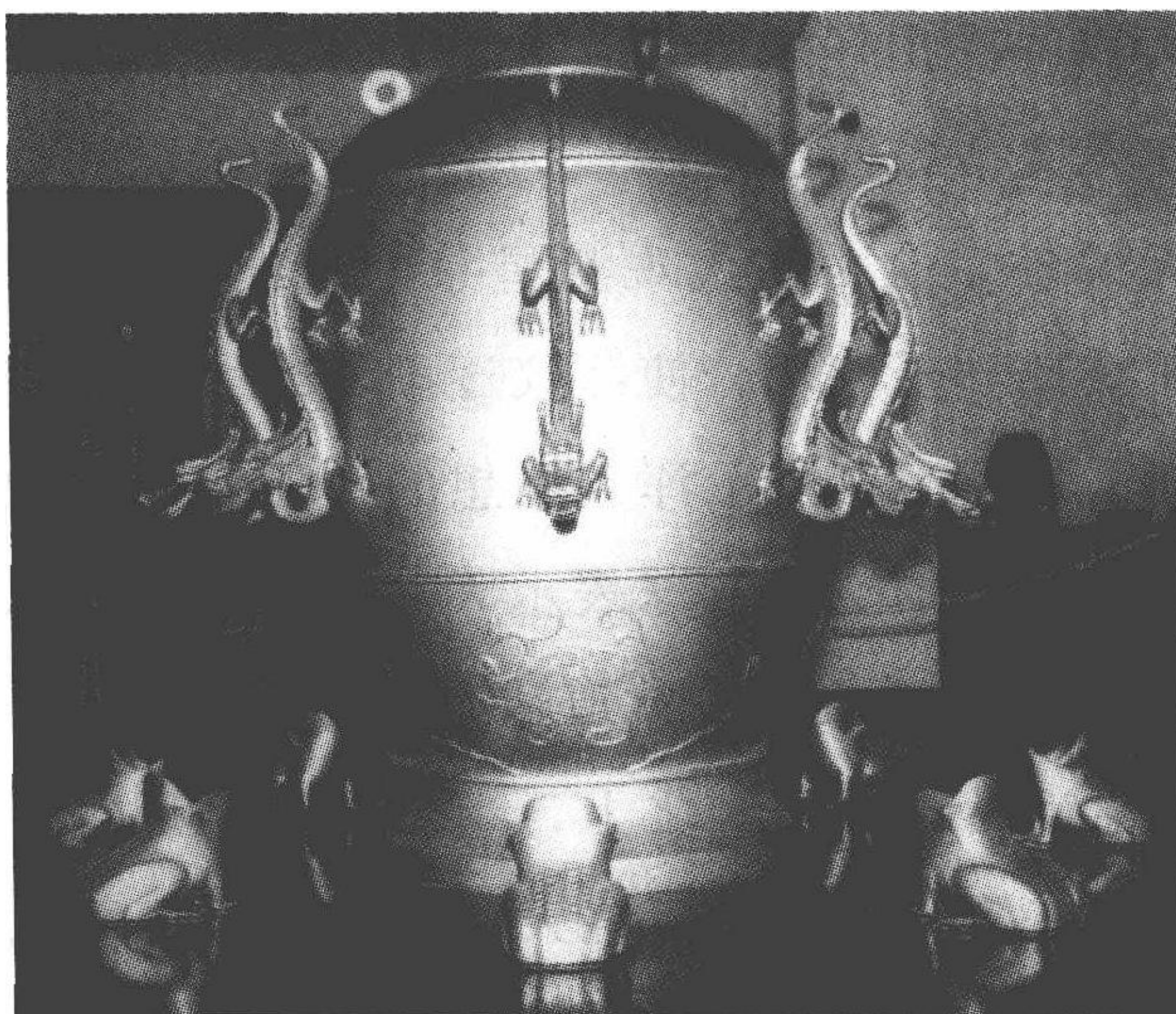
学不倦的习惯，“如川之逝，不舍昼夜”（崔瑗《河间相张平子碑》），他以“约己博艺，无坚不钻”（《后汉书·张衡传》）作为自己为学的座右铭，不但如饥似渴地汲取既有的知识，而且努力探求未知的学术领域，从而把自己造就成一个博学多才的学者，并以杰出的科技贡献而名垂史册。

张衡曾两次担任掌管天文的官员太史令，共达 14 年，所以他在天文学方面的贡献最为突出。除了前面提到过的倡导浑天说外，他对古代观测星象的仪器浑仪进行改进，增加了地平环和子午环，使浑仪逐渐完善。他还在前人工作的基础上，创制了演示浑天思想的仪器水运浑象。他以一个直径约五尺的空心铜球表示天球，上画二十八宿，中外星官和互成 24 度交角的黄道、赤道，球外有地平圈和子午圈，天球半露于地平圈之上，半隐于地平圈之下，天轴则支架在子午圈上，天球可绕天轴转动。他巧妙地把计算时间用的漏壶与浑象联系起来，以漏水为原动力，利用漏壶的等时性，通过齿轮系的传动，使浑象每日均匀地绕轴旋转一周，这样浑象也就自动地、近似正确地把天象演示出来。这一创造，开了后世水运浑象研制的先声。

张衡在另一有关天文学的著作《灵宪》中，总结了当时的天文知识，论述了宇宙生成和演化的思想。书中还对一系列的天文现象进行探讨，提出许多独到的见解。他认为月食是由于地球的影子遮掩了月亮而引起的；他测得太阳、月亮的视直径约为 $\frac{365.25}{730}$ 度，相当于现 360°制的 29.6′，



与现代测得的太阳视直径32.0′，月亮视直径29.6′相近或相符；他提出日月五星和恒星与地球的距离有远有近，它们各自运行的轨道也有时接近地球，有时远离地球，而且速度也有快有慢；他测得的恒星有2 500颗；……这些，在当时都是相当了不起的成就。



候风地动仪复原图

对于地震问题，张衡也进行深入地研究。他于汉顺帝阳嘉元年（132）创制了世界上第一台地震仪，叫“候风地动仪”。地动仪“以精铜铸成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒樽”（《后汉书·张衡传》），内有精巧的机械构造，外在八个方位各有一条口含小铜丸的龙，龙头下面各有一只张口向上的蟾蜍。一旦发生较强地震，相应方向的龙口就会张开，铜丸落入蟾蜍口中，从而得知地震的时间和方位。据记载，汉永和三年（138）二月初三日，地动仪西侧的龙

突然吐出铜丸，而洛阳的人却丝毫没有感觉到地震。过了几天，陇西（今甘肃东南部）有人飞马来报发生地震，时间和方向都与地动仪所示相符，说明了地动仪的可靠性和实用性。

此外，张衡精通于数学。他对圆周率进行过研究，给出了两个圆周率的数值，一为 $\frac{730}{232}$ ，约等于 3.1466；一为 $\sqrt{10}$ ，约等于 3.1622。他著有数学专著《算罔论》，可惜已散佚。他在地图绘制上也有所贡献，曾绘制有一幅地形图，一直流传到唐代。相传他还制造过指南车和记里鼓车，在机械制造方面有很高的造诣。

与张衡同时代的崔瑗曾评论他“数术穷天地，制作侔造化”（《后汉书·张衡传》），恰切地概括了张衡在科技方面的才华。为了纪念张衡在科技方面的卓越贡献，国际天文学界把月球背面的一座环形山命名为“张衡环形山”。

### 漫话《九章算术》

《九章算术》是我国现存最古老的一部数学专著。它不是一人一时的著作，是经由几代人的不断修改、补充完成的。它至迟在东汉前期即已成书，而它的基本内容至迟在西汉后期（公元前 1 世纪中叶）就已基本定型。所谓“九章”就是分为九大类数学问题，全书共有 246 个数学问题及其解答，其体例与现在的数学习题集相似。

第一章方田，是关于各种形状的田亩面积的计算问题，



包括有正方形、矩形、三角形、梯形、圆形、环形、弓形、截球体的表面积计算。其中，还有世界上关于分数的约分、通分、四则运算、求最大公约数等运算法则的最早记述。

第二章粟米，讲的是各种比例的计算问题，特别是按比例交换各种谷物的问题。

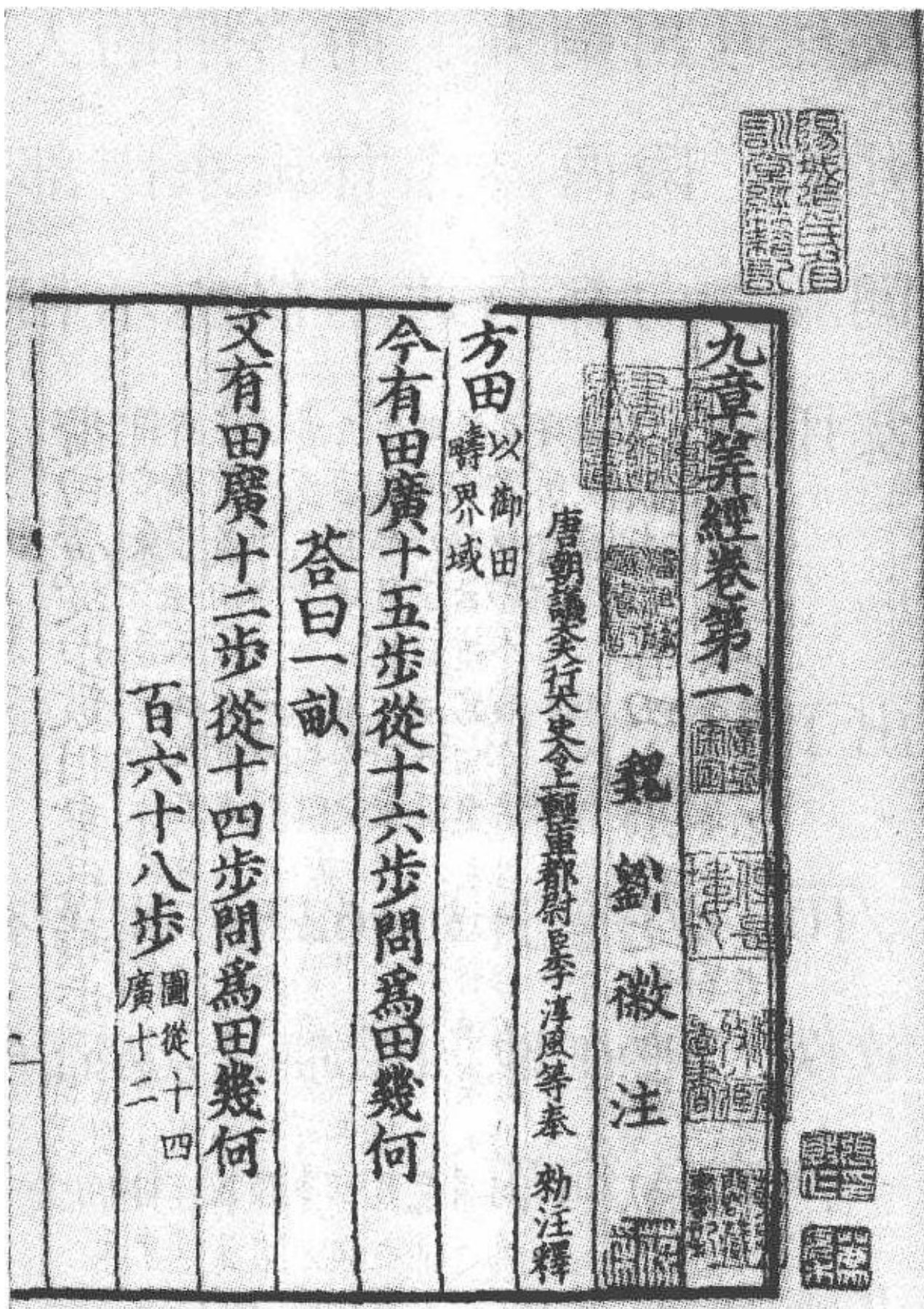
第三章衰分，讲的是按等级分配物资或按等级摊派税收的比例计算。

第四章少广，讲的是由已知面积或体积，求其一边的边长问题，其中涉及开平方和开立方的方法。

第五章商功，讲的是有关土石方和用工量的各种工程数学问题，主要是讲述各种工程体积的计算方法。

第六章均输，讲的是按人口多少、路程远近、物价高低等条件，摊派税收和分派民工的比例问题，涉及到复比例、连比例等较复杂的比例配分计算。

第七章盈不足，讲的是用两次假设来解决某些难题的算法，大多是对“有若干人共买东西，每人出八就多三，每人出七就少四，问人数和物价各多少？”这类问题的解答。因其解法要用两次假设，故现通常称之为“双设法”。



《九章算术》书影



第八章方程，讲的是联立一次方程组的解法问题。其解法与现中学代数课中讲的“加减消元法”基本相同。本章还引入了负数，并给出了正负数的加减运算法则。这些内容在世界数学史上都是第一次出现。

第九章勾股，讲的是利用勾股定理测量和计算高、深、广、远等问题，内容涉及直角相似三角形、二次方程等的解法。

《九章算术》的问世，标志着中国传统数学已经形成，它对后世的数学发展有着深刻的影响。后世的数学著作，基本上承袭它的编写体例，并继承和发展了它所倡导的从实际问题出发，提供数学解法的传统。后世不少杰出的数学家都对《九章算术》进行注释，在注释中引入新的数学概念和方法。著名的有三国时期的刘徽注，唐代的李淳风注等。

### 圆周率和祖冲之

在汉以前，中国一般用三作为圆周率数值，即“周三径一”。这在计算圆的周长和面积时，误差很大。汉时虽有不少数学家和天文学家采用了各自不同的圆周率数值，但都没有建立严谨的科学计算方法。最早提出科学计算方法的数学家是刘徽，他在魏景元四年（263）注释《九章算术》时，创立了“割圆术”，把圆周率的计算推上了一个新的高度。这个方法把极限的概念运用来解决实际的问题，孕育着用有限来逼近无穷的思想，是世界数学史上的一项

重要成就。

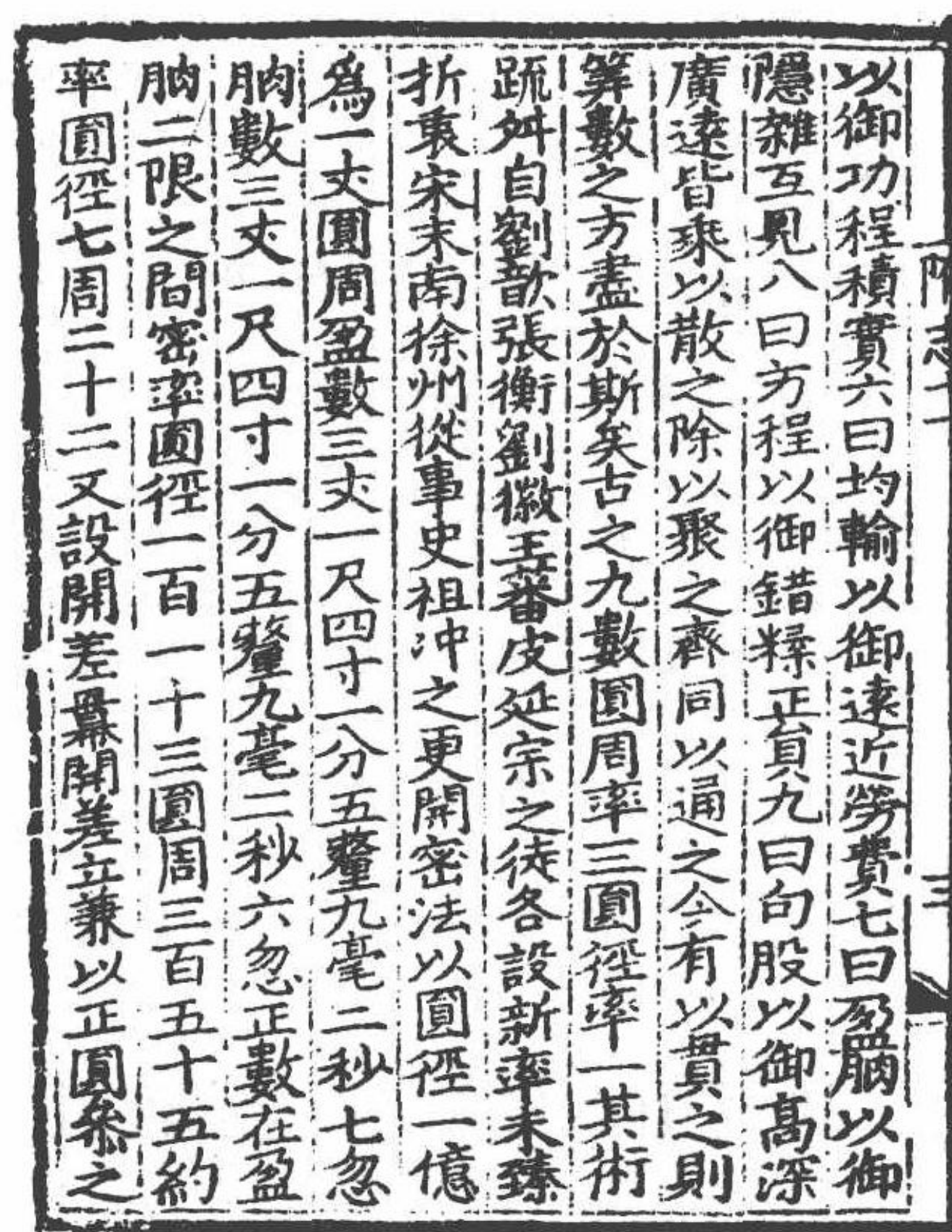
所谓的“割圆术”，就是当圆内接正多边形边数不断增加时，它的周长越来越接近于圆周长，“割之又割，以至于不可割，则与圆周合体而无所失矣”，当圆内接正多边形边数无限大时，其周长就是圆周的周长。这个方法只需用圆内接正多边形的面积就可求取圆周率，不必计算圆外切正多边形的面积，大大简化了计算的过程。刘徽应用这个方法，从圆内接正六边形算起，边数逐步加倍，一直算到圆内接正 192 边形的面积，得出  $\pi$  的近似值 3.14。另一个近似值  $\pi = \frac{3927}{1250}$ （相当于 3.1416）可能也是刘徽算得的，这是当时世界上的最佳数据。

南北朝时的祖冲之，在刘徽工作的基础上，把圆周率的计算推进到古代世界的最高峰。他运用“割圆术”，求出了精确到第七位有效数字的圆周率， $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ 。这一结果的获得，需要对九位数字的大数目进行各种运算（包括开方）130 次以上，又使用筹算方法，其繁复、艰巨可想而知。这一结果领先于世界达 1000 年之久。祖冲之还得出了两个用分数表示的圆周率数值，一个是  $\frac{355}{113}$ ，称密率，这是分母、分子在 1 000 以内表示圆周率的最佳渐近分数，欧洲直到 16 世纪才取得这一结果；一个是  $\frac{22}{7}$ ，称约率。

圆周率的计算，仅是祖冲之的一项贡献，他的科技成就就是多方面的，堪称当时一位卓越的数学家、天文学家和

机械制造家。

祖冲之，字文远，祖籍河北范阳道（qiú）县（今河北涞水县），南北朝时举家南迁建康（今南京）。他生于公元429年，卒于公元500年。他的家庭，从曾祖父起，大都对天文、历法、数学很有研究，在家庭气氛的熏陶下，祖冲之从小就对这些科学很有兴趣，努力学



《隋书·律历志》有关祖冲之圆周率的记载

习，亲自观测天象，进行推算，因而造诣很深。

除了圆周率外，祖冲之在数学方面的另一重要贡献，就是创立了求球体体积的正确公式：球体积 =  $\frac{4}{3}\pi \times (\text{半径})^3$ 。这也是在刘徽工作的基础上，祖冲之与他的儿子祖暅（gèng）之共同研究而取得的。在研究过程中，祖氏父子应用了“等高处截面积相等的两个立体，其体积必相等”的公理。这一公理在欧洲直到17世纪才被意大利数学家卡瓦列里所引用。祖冲之还曾著有《缀术》一书，在唐代被列为10部算经之一。可惜由于其内容太高深，被学官废置而亡佚。

在天文学方面，祖冲之大胆地指出了前人所制历法的不足，提出了历法改革，于刘宋大明六年（462），完成了



新历法“大明历”的制定工作。大明历把岁差首次引入历法，把19年七闰法改为391年144闰，从而使历法更加精密。

同时，祖冲之在机械方面也有辉煌的成就。他曾制造过“圆转不穷，而司方如一”（《南齐书·祖冲之传》）的指南车、“日行百余里”（《南齐书·祖冲之传》）的千里船，以及利用水力转动石磨舂米磨谷的水碓磨等。

为了纪念祖冲之在科技方面的卓越贡献，国际天文学界将月球背面的一座环形山命名为“祖冲之环形山”。

### 从《山海经》到《水经注》

《山海经》中的神话故事，长期以来一直吸引着少年儿童。明代著名旅行家和地理学家徐霞客，小时候在私塾读书时，就曾在课堂上偷看《山海经》而被先生抓到。鲁迅小时候也把《山海经》视作“最为心爱的宝书”，后来还特意在《朝花夕拾》中写了一篇《阿长与〈山海经〉》。

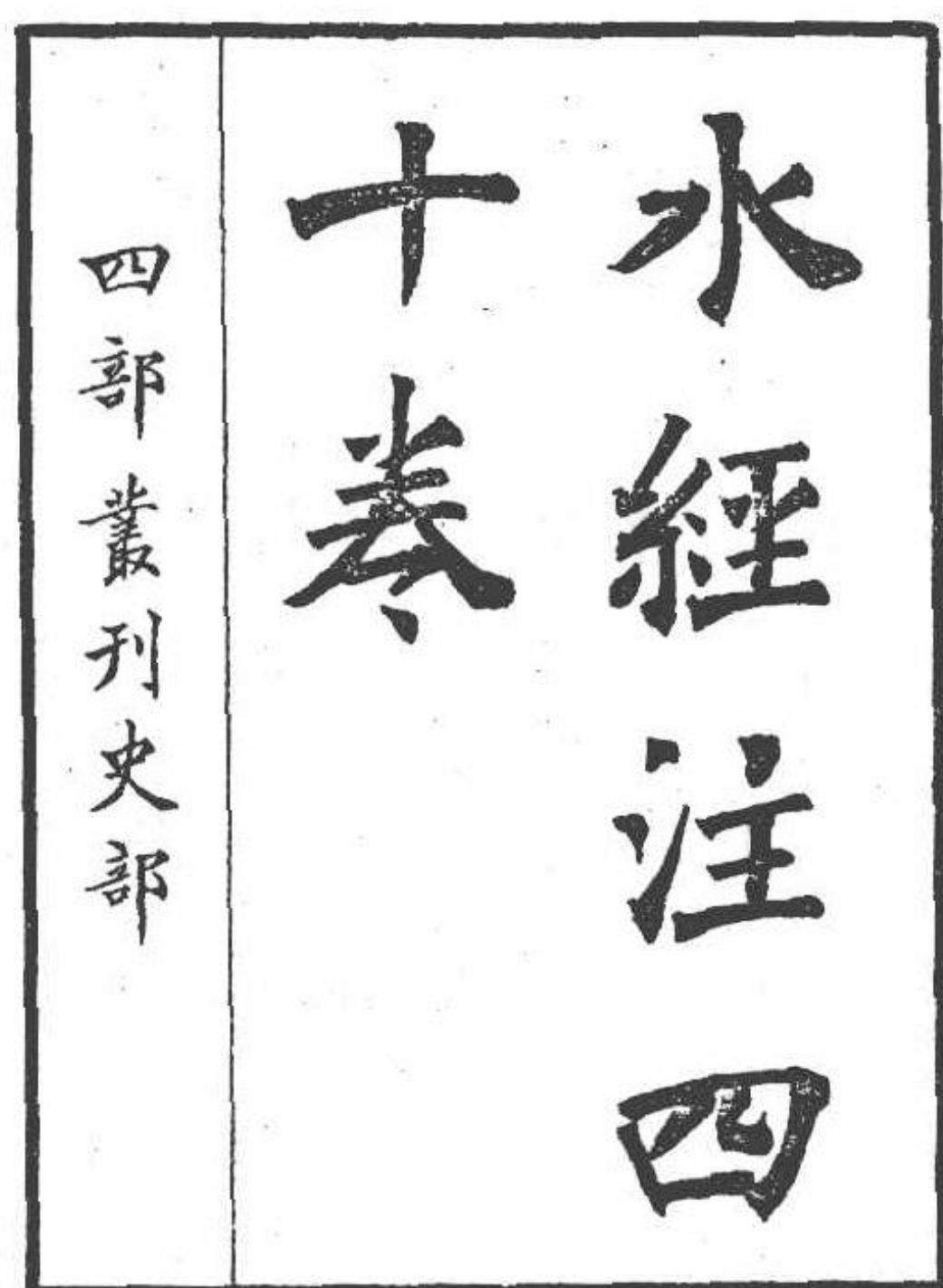
《山海经》由《山经》、《海经》、《大荒经》三部分组成，它的作者和成书年代都还没有考定。其中以《山经》成书最早，科学价值最大，也是我国现存最早的地理著作。

《山经》以山为纲，对黄河、长江流域的地理情况进行了综合的记述。整个描述的地域被划分为五个部分，今河南西部为中山经的主要地域，以南为南山经，以西为西山经，以北为北山经，以东为东山经。每个地区都按一定的方向和道里（距离），依次描述各个山的地形、水文、气

候、动植物、矿产等内容。共计描述了 460 座山，300 条水，27 个湖泊，160 种植物，270 多种动物，89 种岩石和矿物。

《海经》和《大荒经》则记载有大量的传闻和神话，在科学上的价值虽不如《山经》，却为我们研究神话传说、历史、民族、宗教提供了丰富的资料。

三国时，有人以水道为纲，写了《水经》一书。全书约 10 000 字，记述水系 137 条，分别说明源头、所经地、支流注入处所等内容。到了北魏时，著名的地理学家酈道元（466 或 472 ~ 527）以《水经》为基础，以给《水经》作注的形式，撰写了《水经注》一书。全书分 40 卷，约 30 万字，记述河道 1 252



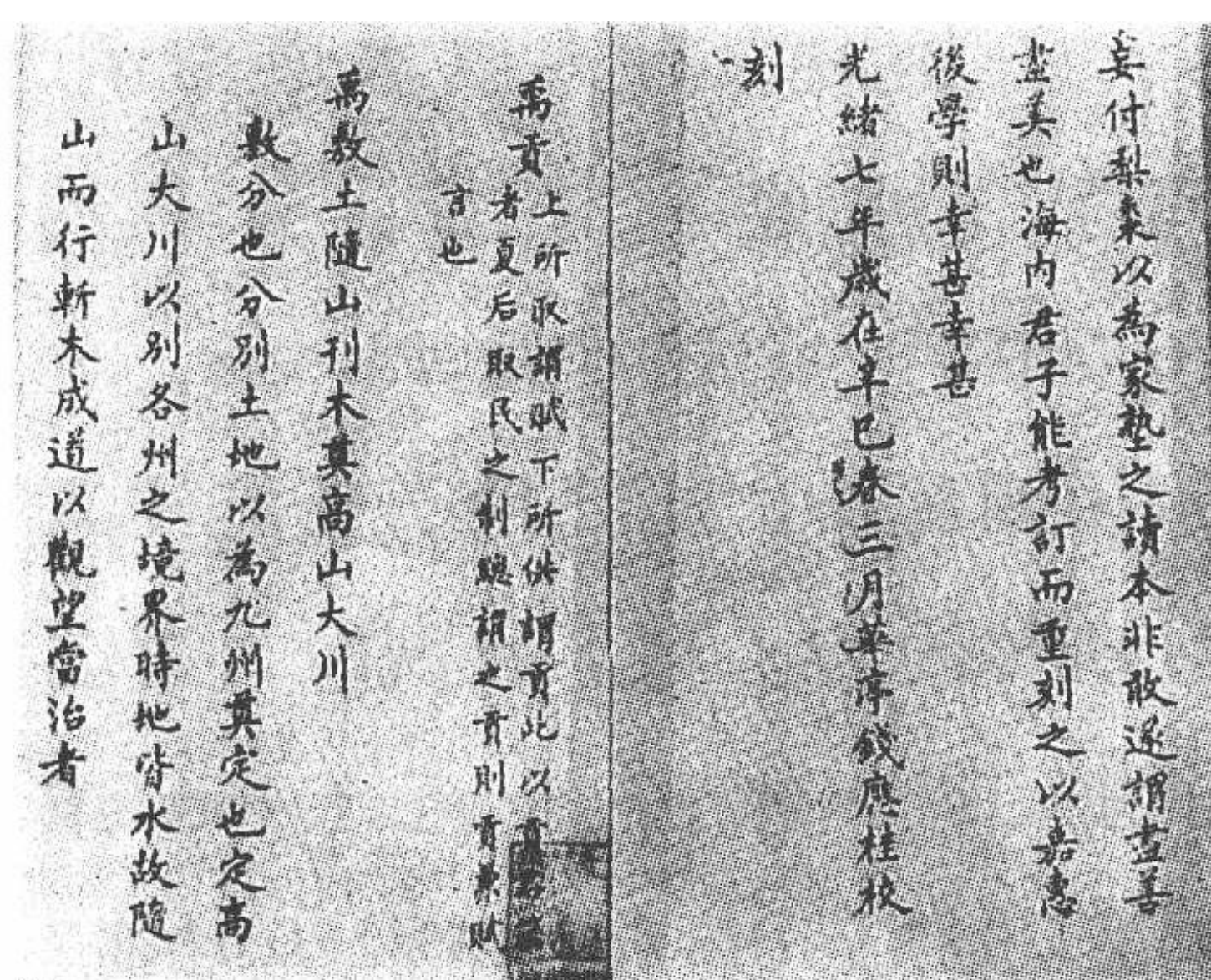
《水经注》书影

条。对于各水系，都分别叙述了源头、干流和支流的吐纳分合等情况，并说明它们的方向、道里，使河流的脉络分明。书中还记述了河流流经地区的土质、地形、特产、城邑、水利工程以及它们的沿革变迁，所涉及地域，东北到坝水（今朝鲜大同江），南到扶南（今越南、柬埔寨一带），西南到新头河（今印度的印度河），西到安息（今伊朗）、西海（今咸海），北到流沙（今蒙古沙漠）。

《山经》和《水经注》，反映了我国早期的地理概念，

“山川，地理也”（《汉书·郊祀志》）。其记述内容较重视自然地理，并与农业生产有着密切的关系。也就是如何根据不同的地理环境，因地制宜地从事农业生产，以解决衣食问题。这是我国古代地理学的一个分支。而在东汉以后，在中国传统地理学中占主导地位的，则走的是由《禹贡》、《汉书·地理志》所开辟的另一途径。

《禹贡》大约是战国时的作品，后来被收入《尚书》。它讲的是大禹治水后，各地如何向政府贡献田赋和其他贡品的法定制度，其书名就是按这个意思而定的。全文虽不足1200



《禹贡》书影

字，但内容却非常丰富。在讲贡赋制度的同时，还讲行政区域、山岳、水文、土壤、物产、交通、民俗等，从其书名和内容看，就可以知道它与国家的管理有着密切的关系。实际上，把地理与国家管理联系在一起的思想，在《山经》中就已经有所反映，认为了解各地地理情况，是关于“国用”的大事。这也正是中国传统地理学的一个显著特点。这一特点在汉代更得到发挥，并形成了传统地理学的基本格局。

我国第一次以“地理”命名的著作，是东汉班固（32~92）所著《汉书》中的《地理志》。它共分三部分，



第一部分主要是转录《禹贡》和《周礼·职方》的全文，作为政区发展的沿革；第二部分论述疆域政区的建置沿革，以及各郡县的户口、山川、物产和名胜等；第三部分讲地域分野、历史、风俗等。它赋予“地理”以一种新的意义，即以疆域政区的建置沿革为主，而把“山川”退居从属地位。

《汉书·地理志》对后世的地理学影响极大。在24部“正史”中，有15部有《地理志》，都是以《汉书·地理志》为典范写成的。唐以后编修的历代地理总志，如《元和郡县志》、《元丰九域志》和元、明、清《一统志》，以及宋以后大量涌现的地方志，也都是承继《汉书·地理志》的编撰体例。这些地理著作，以供“王者司牧黎元，方制天下，列井田而底职责，分县道以控华夷”之用（《旧唐书·地理志》），为治理国家提供了重要的依据，也因此受到历代政府的重视。

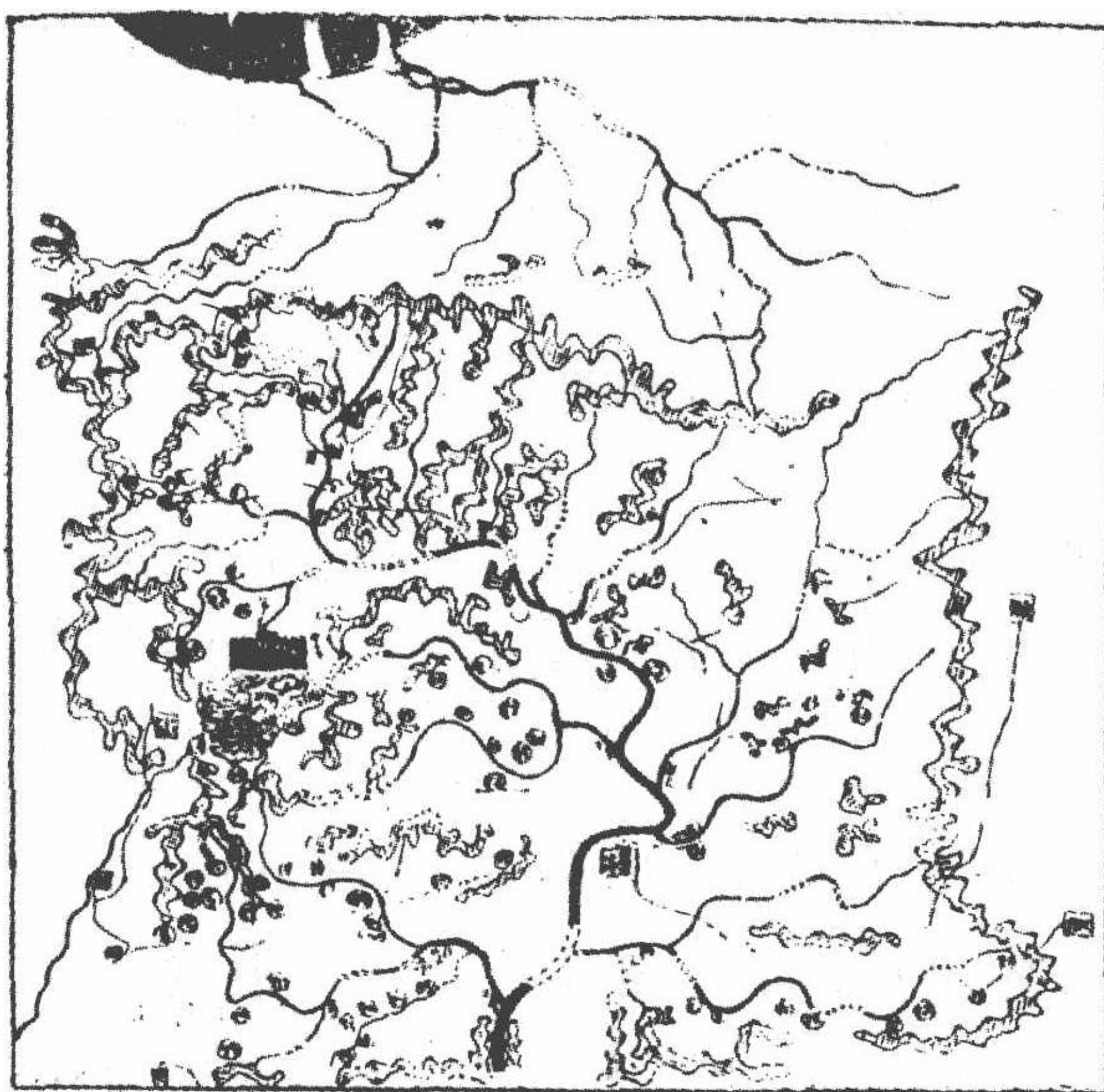
### 马王堆地图和裴秀“制图六体”

地图的绘制与地理情况一样，都与治理国家有关，也受到历代政府的重视。在先秦时期，人们已经绘制地图，并将地图用于政治、经济、军事的目的。先秦经典《周礼》中就说，大司徒（官名）的职责是掌握邦国地图的人，通过地图来了解山川地貌、都市、物产、疆域等。另一经典《管子》中，有专门的“地图篇”，说明地图对兵家的重要性，只有通过地图了解地形、地貌、路途远近等情况，才

能“不失地利”，“举措知先后”。

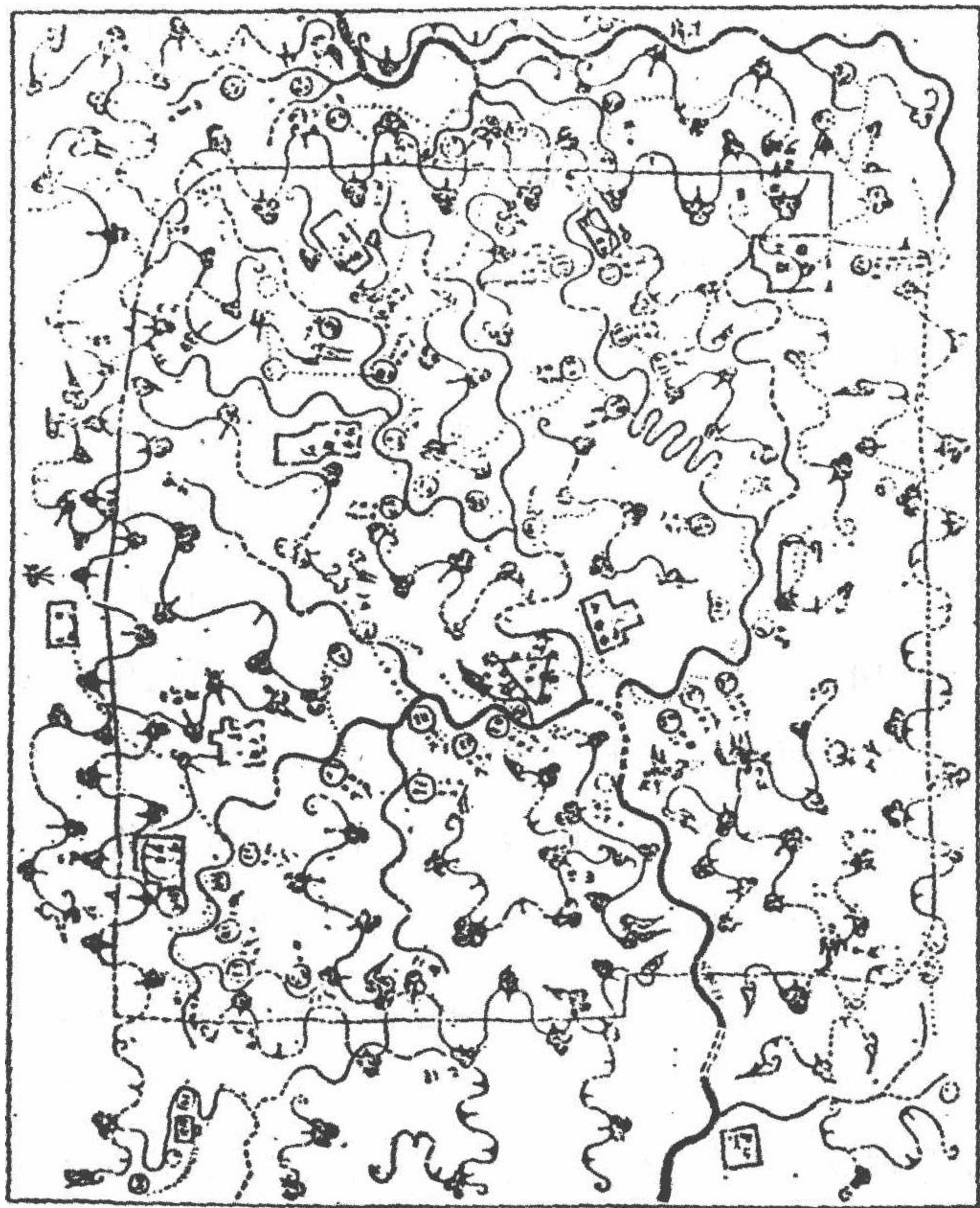
在长沙马王堆汉墓中，发掘出土了公元前168年以前的三幅地图，都是画在帛上的。现已发表其中的两幅。原图无名，现按图的内容和性质，取名为“地形图”和“驻军图”。这三幅地图连同前面提到过的在甘肃天水放马滩发现的西汉初期纸质地形图，是我国，也是世界上迄今遗存的最早以实测为基础绘制的地图。

地形图大致按1:17万~1:19万之间的比例尺绘制而成。图中对山脉、河流、居民点、道路等都有一定的画法。如，用闭合曲线加晕线表示山脉的走向；河流上游细下游粗；县用矩形表示，乡用圆圈表示，又有大有小，表示县乡的大小；道路用细实线（有时也用虚线）表示等。



长沙马王堆三号汉墓出土的地形复原图





长沙马王堆三号汉墓出土的驻军复原图

驻军图是一幅彩色军事地图，河流湖泊用蓝色，山脉用黑线，黑底套红的框框标示军队驻地，各驻军防线用红色实线划分，红色虚线表示军用道路，黑圈表示居民点。图中共绘出九支驻军的布防、指挥点等状况。

这两幅地图不但显示了当时中国的地图绘制水平，而且也反映了当时的测量技术和测量数学已达相当高的程度。

把古代制图学理论化，并创立制图理论的是西晋杰出

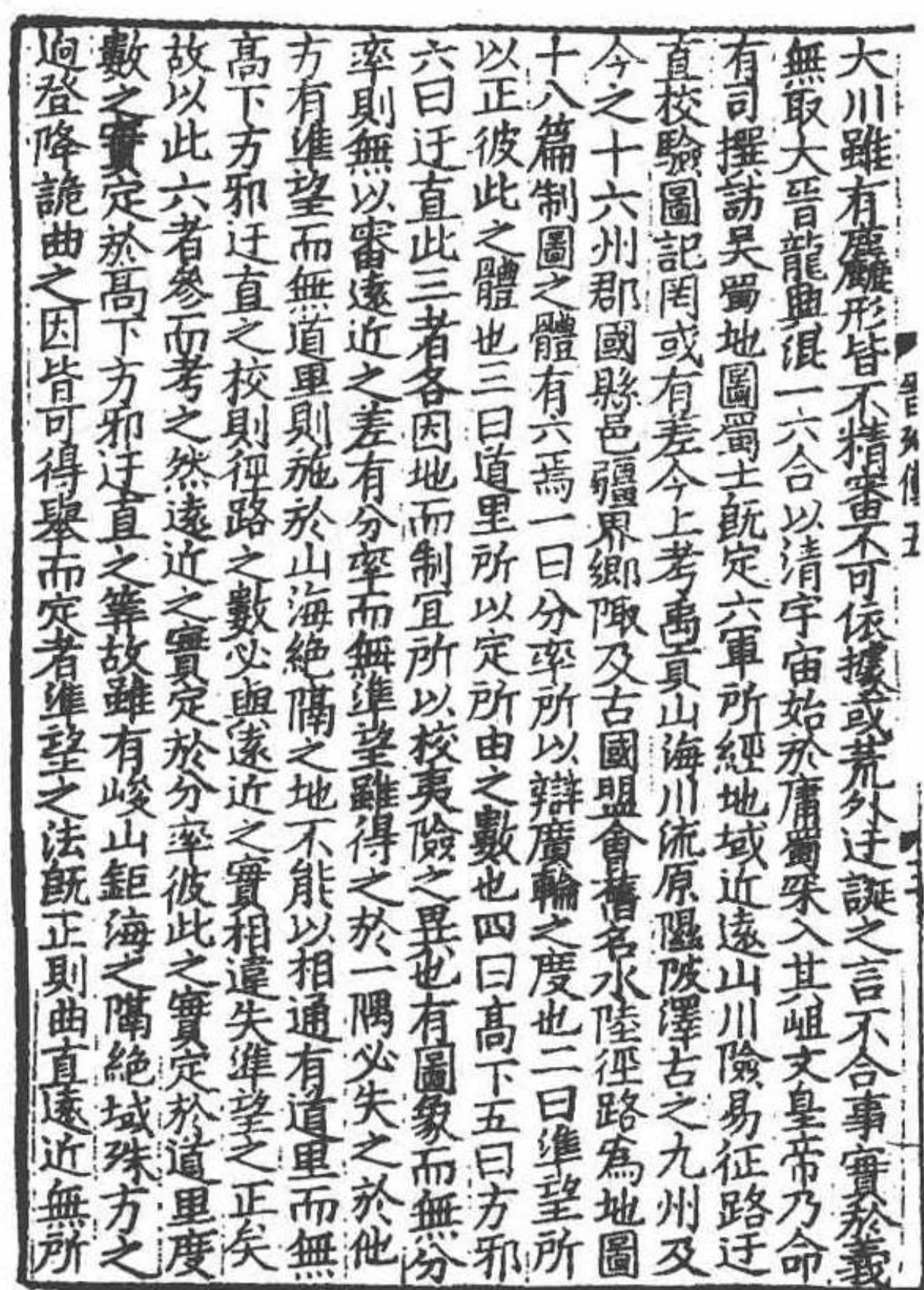


地图学家裴秀（223 ~ 271）。裴秀字季彦，河东闻喜（今山西闻喜县）人。晋武帝时，他任司空（相当于宰相），兼任地官。地官管理全国的户籍、土地、田亩和地图，这使他有条件查阅政府收藏的前代地图，并潜心研究。他在原有地图测绘的基础上，加以总结、提高，创立了中国传统地图学的制图理论，并为了国家治理，使“王者不下堂而知四方”（《北堂书钞》卷九六），绘制了新的全国地图，泰始四年至七年（268 ~ 271），他完成了《禹贡地域图》18幅，这是中国和世界见于文字记载的最早地图集。他还把一幅用绢80匹，观看不便的《天下大图》，用“一分为十里，一寸为百里”（《晋书·裴秀传》）的比例（相当于1:1 800 000），缩制成《方丈图》。遗憾的是，这些珍贵的历史地图早已散失，而值得庆幸的是，裴秀的制图理论，因被收入《晋书·裴秀传》而得以保存至今。

裴秀创立的制图理论称为“制图六体”，也就是绘制地图时必须遵守的六项原则。即分率、准望、道里、高下、方邪、迂直。“分率”就是比例尺，说明必须有按比例反映地区长宽大小的比例尺；“准望”就是方位，用来确定地图上地形地物彼此之间的位置关系；“道里”就是距离，用来确定各地间距离的远近；“高下”、“方邪”（即方斜）、“迂直”（即曲直），说明各地间由于地形高低变化和中间物的阻隔，道路就会有高下、方斜、曲直的不同，但制图时两地间所取的距离应是水平直线距离，故要“因地制宜”，采取逢高取下，逢方取斜，逢迂取直的方法，确定水平直

线距离，绘制地图。裴秀还强调指出，这六条原则是互为关联、互为制约的。六者缺一不可，少了哪一项，地图也就不可能正确地反映真实的地理情况。

裴秀提出的这些制图原则，是绘制平面地图的基本科学理论。这些理论一直为后世所沿袭，影响着直至清代的我国传统制图学。



《晋书·裴秀传》有关制图六体的记载

### “巧思绝世”的机械制造家马钧

马钧，字德衡，三国曹魏时扶风（今陕西兴平东南）人。他一生刻苦好学，对于机械制造有着特别浓厚的兴趣，专心致志地埋头钻研，终于成为一代卓越的机械发明家。他一生的创造发明很多，其中著名的有如下几种：

改进织机。我国很早就利用织机织造提花织物。大约从春秋战国到秦汉，逐步形成出一种多综多蹻的脚踏织机。“综”是控制经线的机件，可使织机上的经线一开一合，上下运动，以便穿梭；“蹻”是踏具。汉宣帝时（前73～前48），织机的综、蹻数各达120个，东汉时则降为各50

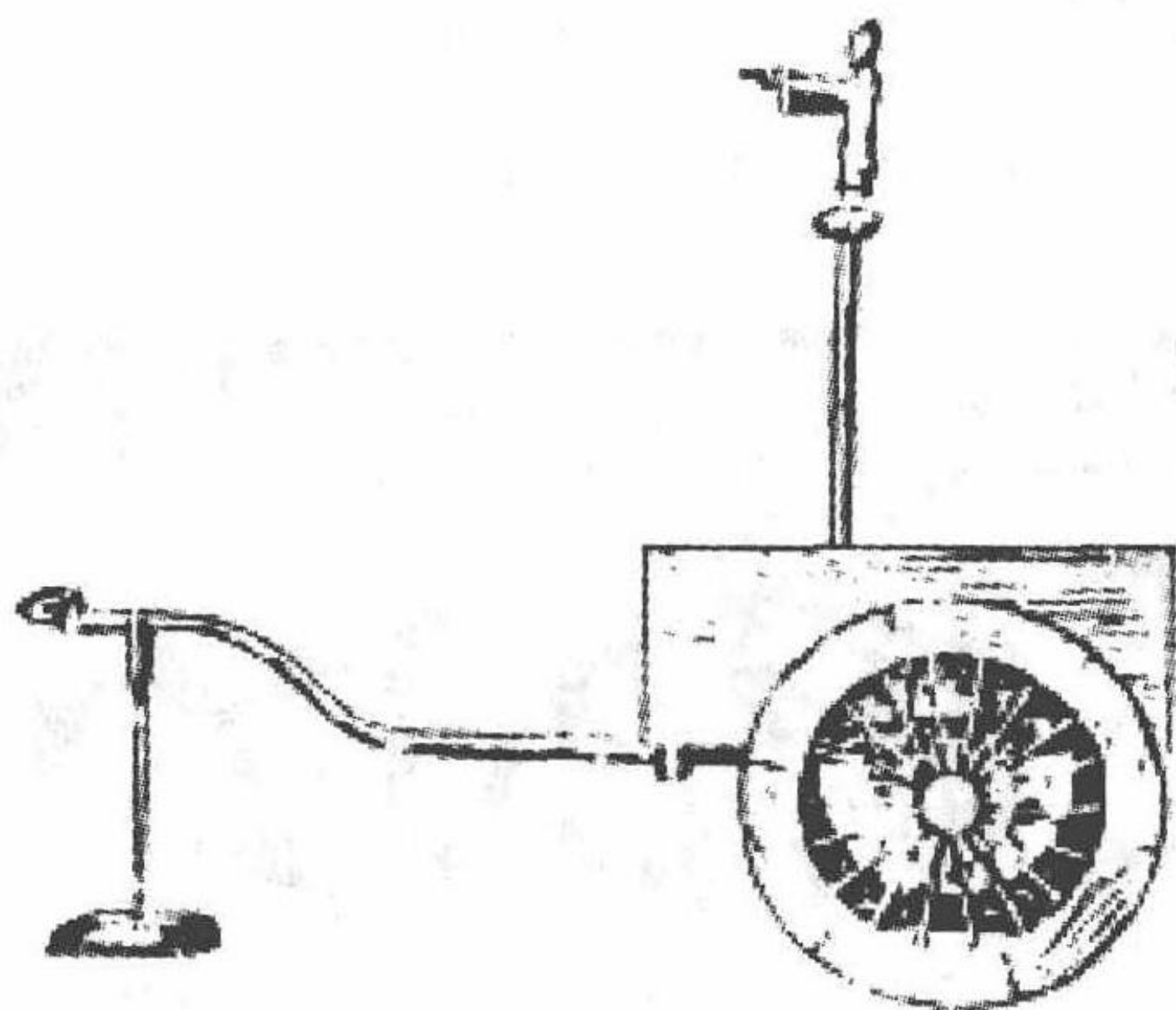
或60个。这么多的综、躡，操作非常复杂，生产效率很低。为了简化操作，提高生产率，马钧对织机作了重大的改进。他把躡数大幅度减少，制成了12躡、50综和12躡、60综的织机。这不但使操作大大简化，生产率提高，而且由于工艺要求降低，提高了织机的性能，织出的织物的花纹图案更加精美。

制造指南车。指南车是中国古代的一项重大机械发明。传说在上古时期有两个部落，一个姓姜，首领是神农氏炎帝；一个姓姬，首领是黄帝。另又有一个九黎部落，首领叫蚩尤，常侵袭姜姓和姬姓部落。在一次蚩尤与神农的战斗中，神农因迷失方向而战败。于是神农向黄帝求援，黄帝便造了指南车，与神农共同抵御蚩尤。因有指南车指引方向，终于大败九黎部落，生擒蚩尤。还有一个传说，说周公时，居住在东南亚的越裳氏派使者晋见周成王，归国时周公为了让使者不致迷路，便造了一辆指南车送给他们。

传说当然不能代替史实，指南车什么时候由什么人发明？现还无法知道。一次马钧在朝会上听到有人议论指南车只是史书的虚构，根本就不存在。他不同意这种看法，认为古时曾有过指南车，只是已经失传了，只要肯研究，把指南车重新制造出来并不难。认为没有指南车的人便讥笑他，说：“先生名钧，字德衡。钧是器物的模型，衡是用来确定物品轻重的。难道没有轻重的标准就可以作模型吗？”马钧不善辞令，没有反唇相讥，只是说：“仅用语言争论没什么用处，不如做做试验才能有个结果。”于是，马



钩研制出指南车。这是一种由车子和一个木人构成的指向机械，车中装有可自动离合的齿轮传动装置，并与木人相连，木人有一只手指向前方。不管车辆朝什么方向行走，在自动离合齿轮装置的作用下，木人的手都指向南方。



指南车复原图

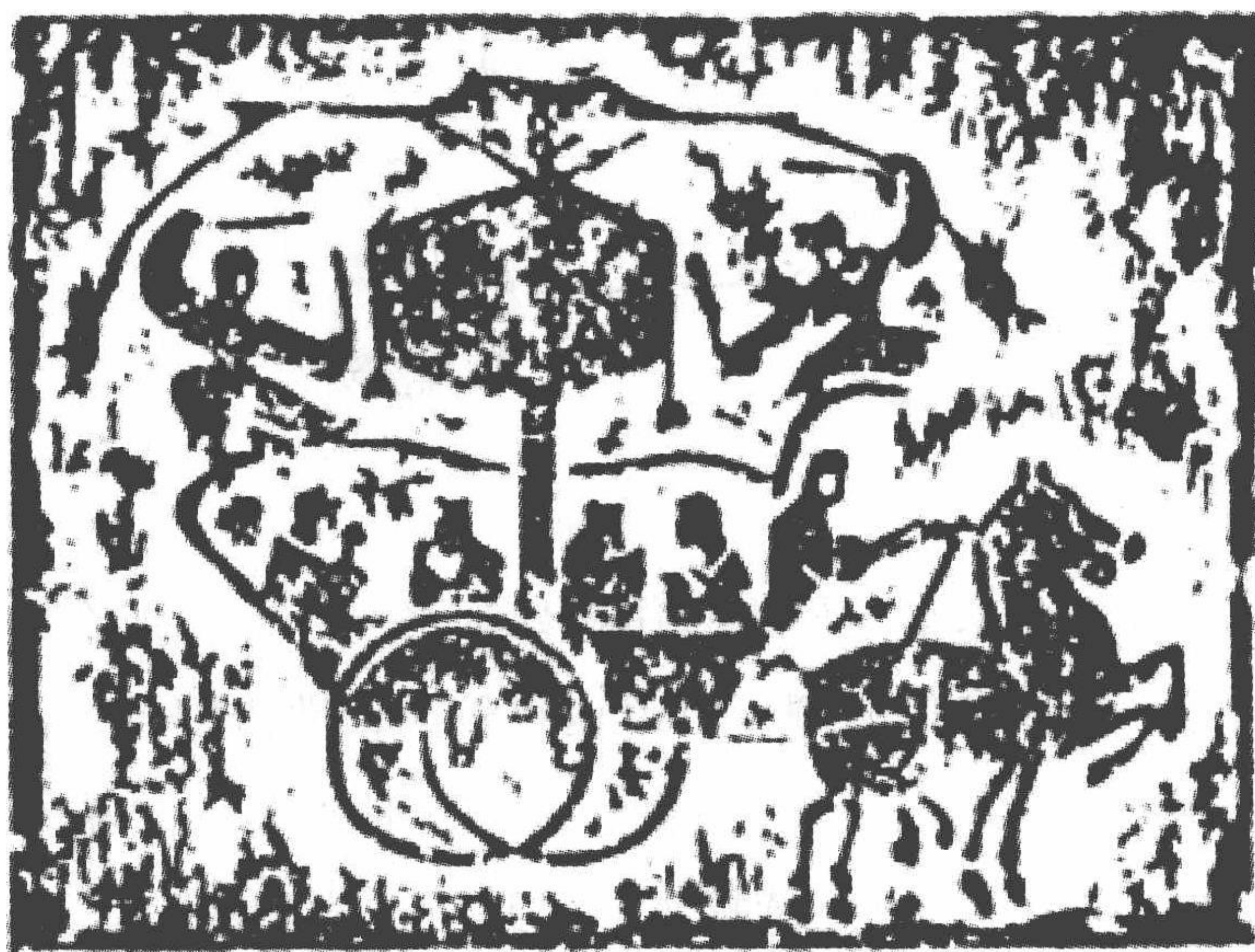
创制龙骨水车。马钧居住在魏都洛阳，一次他看到有一片地，可以辟作园圃，但因地势较高，灌溉困难，他便制造了一种新式的引水工具翻车（即龙骨水车），“灌水自覆，更入更出”，可连续提水，“其巧百倍于常”（《三国志·方技传·马钧传》），运转轻便省力，儿童都可操作，效率比其他提水工具高得多。

制造水转百戏。当时有人送魏明帝一种木制玩具，上面有各种戏剧的人物和禽兽造型，形态优美，制作精致，但却是固定不动的。魏明帝便令马钧进行改造。马钧用木头做了一个大轮，以水为动力推动轮运转，再利用齿轮装置与戏中的人物、禽兽相连，使其活动，成为“变化万端”

的水转百戏。

此外，马钧还改进过连弩（一种可以连续发射的弩弓）和发石车（一种发射石块武器）。

马钧的这些创造发明，即使是用现代的眼光来看也是了不起的，何况是在 1700 多年前。当时有人用“巧思绝世”来评价他，可说是再确切不过了。



汉代画像石上的记里鼓车

在中国古代，与指南车并称的另一种机械发明是记里鼓车。它发明于汉代，这是一种利用减速齿轮系统，带动车上木人而报告车行里程的机械。每当车行一里或 10 里时，木人就会击鼓，由击鼓的次数就可以了解已行走了多少路程。它与指南车一起，体现了我国古代机械技术的辉煌成就。

## 贾思勰和《齐民要术》

贾思勰生活于公元5世纪末到6世纪中叶，曾任过北魏高阳（今山东青州）太守。由于文献记载缺乏，他的经历已无法查考。他所著的著名农书《齐民要术》，是中国农学史上一部经典著作。该书是他“采摭（jùn）经传，爰及歌谣，询之老成，验之行事”而写成。全书计10卷，92篇，引述文献达160多种，同时收集有农谚，并包含有贾思勰调查访问所得和亲身实践的经验。

在《齐民要术》中，贾思勰建立了较为完整的农学体系，对以实用为特点的农学类目作出了合理的划分。从开荒到耕种，从生产前的准备到生产后的农产品加工、酿造与利用，从种植业、林业到畜禽饲养业、水产养殖业，论述全面，条理清晰。这一农学体系，为后人编纂农书延续。

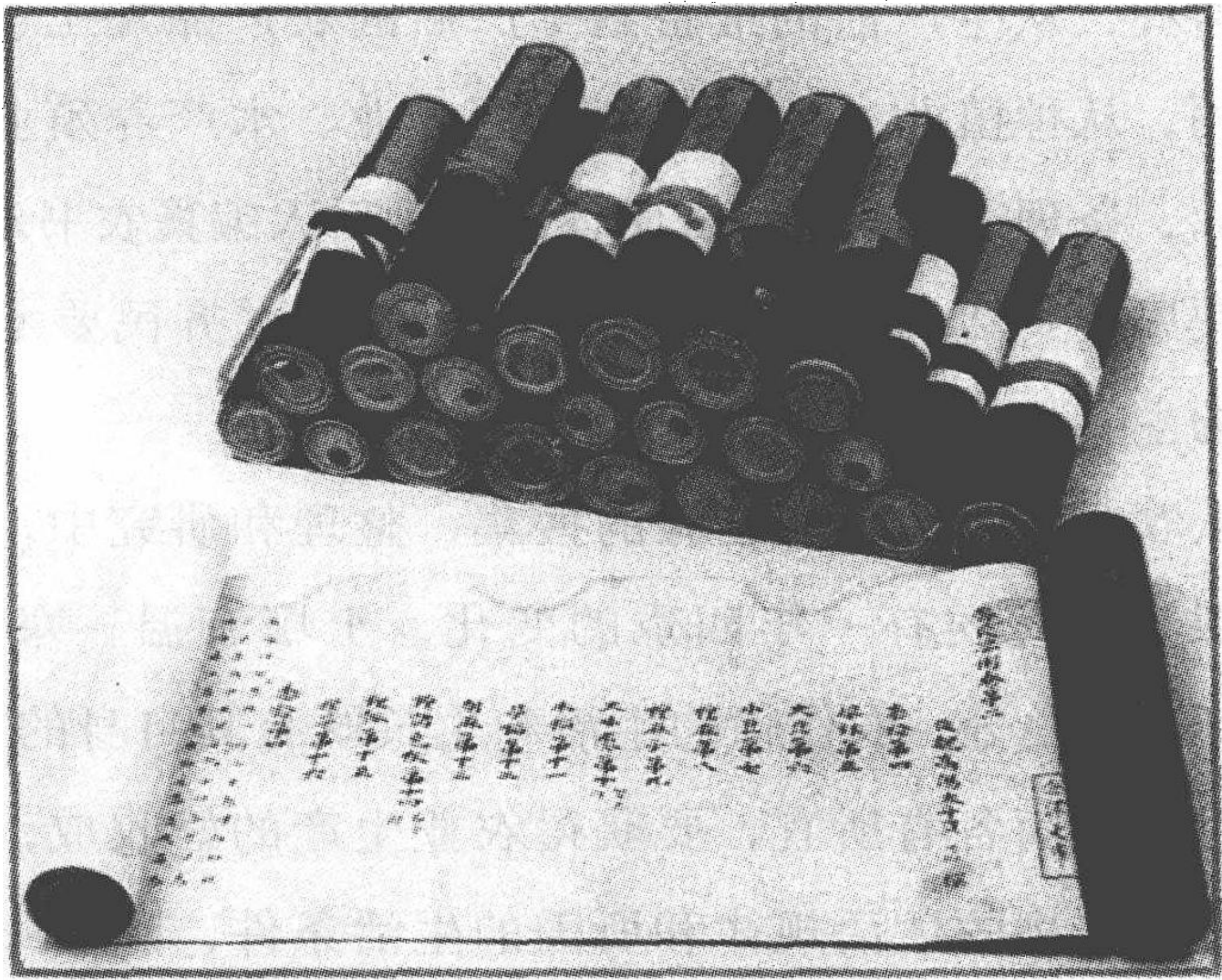
贾思勰生活和活动在中国北方，因此《齐民要术》中反映的主要是北方干旱地区的农业技术。

从农业典籍和生产经验的搜集、整理和研究中，贾思勰认识到，气候有一年四季的变化，土壤有温、寒、燥、湿、肥、瘠之分，农作物的生活和生长既有其自身的规律，又因时因地而各有所宜，要获得农业生产的好收成，就必须了解农作物的生活规律和所需的生活条件，顺应其生长的要求。他继承中国农学注重天时、地利和人力三要素的思想，特别强调“顺天时，量地利，则用力少而成功多。任情返道，劳而无获”（《种谷第二》）。但是，他并没有要



人们仅仅被动地去顺应天时、地利，他对人力的作用非常重视，要人们在掌握天时与农作物生长关系的同时，能动地利用“地利”，以求取更好的收成。在《齐民要术》的各篇中，他都着意介绍和评述如何合理利用人力、物力，搞好经营管理。这种把天时、地利、人力有机地结合起来，强调因时制宜，因地制宜，精耕细作，合理经营的思想，对后世农业生产有着极其深刻的影响。

《齐民要术》的记述非常丰富，其中有关于各种土壤的经营方法，旱地保墒技术，选种，种子处理（拌种、晒种等），保持和提高地力等。书中关于水稻的催芽技术的记载，是中国农学史上的最早记录。



《齐民要术》书影

《齐民要术》中还反映了中国古代丰富的生物学知识。当时人们已使用扦插——即无性繁殖的嫁接法，例如说用

棠树（即杜梨）做砧木，用梨树苗作接穗，梨结果大而细密。在嫁接时注意到接穗要选择向阳的枝条，说明对光在植物生长中的作用已有所认识。强调嫁接时木质部与木质部，韧皮部与韧皮部要密切接合，说明对植物的生长特性有较深的了解。对马、驴杂交所生出的骡的生物优势和禽畜去势催肥等认识亦较以前深入。在开垦树林荒地时，书中总结了树木的环刈（yì）法，把树木韧皮部割去一环，阻止树液通过，使树木枯死，然后放火烧，可以连根去掉，这对开垦荒地是很有用处的。我国在农产品加工方面，利用微生物发酵来加工豆类、酿酒和制奶酪等有着悠久的历史，到南北朝时，人们已能较熟练地掌握微生物发酵技术。《齐民要术》中记载了丰富的微生物学内容，并用之加工多种食物，有些还上升到比较系统的规律性认识。

北朝时期，大量的游牧民族进入内地，使中原地区的畜牧业得到发展。《齐民要术》既总结了历代的家畜饲养经验，也吸收了北方各民族的畜牧经验。书中有根据动物形态鉴别品种优劣的知识，并介绍了饲养牲畜的各项措施，提出了要依据各种动物的生长特性，适其天性，进行管理。《齐民要术》对于种畜的培育非常重视，记述了留取优良品种，注意孕期环境，繁殖仔畜的方法等等。如羊要选腊月、正月生的羊羔留种最好，母鸡要选择形体小、毛色浅、脚细短、生蛋多、守窝的。书中还收集了兽医药方 48 种，内容包括外科、传染病、寄生虫病和普通病等，这是我国现存最早的有关兽医药学的记载。



## 几部医药经典

从秦汉到南北朝时期，是中医学发展的一个重要时期，涌现了一批杰出的医药学家和重要的医药经典。由于篇幅所限，这里只简要介绍几部中医学中的经典著作。

《神农本草经》 成书于汉代，是战国以来药物知识的总结，而不是出于一时一人之手的著作，为我国现存最早的药物学专著。因相传神农曾尝百草，一日遇 72 种毒，但都有消解法，故冠以神农之名。书中共记载药物 365 种，其中有植物药 252 种，动物药 67 种，矿物药 46 种。每一种药物都包括有主治、性味、产地、采集时间、入药部分、有何异名等内容。书中还根据药物的性能和使用目的的不同，把药物分为上、中、下三品。上品一般指毒性小或无毒的补养药物；中品有的有毒，有的无毒，多兼有治疗作用和滋补功效；下品大多有毒，专用于攻治疾病。《神农本草经》所创立的中药学体系，一直沿袭到唐代。唐《新修本草》问世，方改变这种药物分类体系。

《伤寒杂病论》 它是由后世尊为医圣的东汉著名医学家张仲景（约 150 ~ 219）所著的。所谓伤寒与现代医学中伤寒的含义不同，而是泛指由外感风寒引起的各种疾病。后人把该书分为《伤寒论》和《金匱要略》二书，《伤寒论》专门论述伤寒一类的疾病，《金匱要略》则以论述内科、外科、妇科等杂病为主。张仲景在书中创立了理、法、方、药俱备的辨证论治的医疗原则，使中医学的基本理论



更切合于临床应用，并奠定了中医治疗学的基础。

《脉经》 晋代名医王叔和（公元3世纪人）著。全书10卷，是对以往脉学进行系统总结而成的一部脉学专著。书中列举了24种脉象，对每种脉象都作了简明扼要的阐述。它在《伤寒杂病论》的基础上，发挥脉学诊断的作用，结合传统脏腑学说，说明脉象与五脏六腑病症的关系，指导在临床上的诊断和治疗。它是我国现存最早的脉学专著，是中医脉学的奠基性著作。

《针灸甲乙经》 晋代皇甫谧（215~282）著。这是对以往针灸学进行系统总结而成的针灸学专著，也是我国现存最早的针灸学典籍。全书分12卷，128篇，记载穴位349个。对每个穴位都记明针刺深度、留针时间和艾灸时间，对针灸的适应性和禁忌也作了明确的说明，对后世的针灸学有很深的影响。

《肘后方》 原为晋代葛洪所著，后人有所增补，是一部具有普及推广意义的实用医药著作。葛洪自号抱朴子，是著名的医药学家和炼丹家。他深感当时的医书“既不能穷诸病状，兼多珍贵之药”（《肘后方·自序》），贫穷的人和住在乡间的人要就医很困难；而针灸对于不懂医学，不知穴位的人无法运用。这种情况对大多数的人来说，虽然有医方，却仍不免要遭受疾病的侵袭，因此他著了此书。书中的医方“率多易得之药”，即使要购买，“亦皆贱价草石，所在皆有”（《肘后方·自序》）。书中的内容包括急性传染病、各脏腑慢性病、外科、儿科、眼科以及六畜病的

治疗方法，并附有药方。

## 元气学说

除前面叙述的阴阳五行学说外，对传统科学影响较大的自然观中，还有元气学说。

元气学说起源于战国时期，首先是有人提出了物质性的“气”作为天地万物的起源，接着荀子发展了气的学说，认为水、火、植物、动物和人都是由气组成，不过所处的发展阶段不同而已。到了东汉，王充（27～约97）继承和发展了这一关于气的学说，使元气学说系统化和理论化。王充关于元气学说的论述，记载在他的著作《论衡》一书中。

王充说，“天地，含气之自然也”（《论衡·谈天》），“天地合气，万物自生”（《论衡·自然》）。也就是说，元气是宇宙之本源，天地万物都是由元气自然而然地构成的，而且天地万物的运动、变化也都是由元气的聚合离散引起的。由此，王充否定了有意志的天的存在，并进而否定鬼神迷信。从元气学说出发，王充试图解释各种自然现象。例如，关于云雨的形成问题，王充说这是由于地气上蒸，遇冷“冻凝”而成，“初出为云，云繁为雨”。他还指出，云、雾、露、霜、雨、雪等现象，都是气中的水在不同条件下的不同表现形式。关于雷电的成因，王充提出是由“太阳之激气”同云雨一类的阴气，“分争激射”而引起的。对于人的生死变化，王充认为这也是气的作用的结果。他

说：“阴阳之气，凝而为人，年终寿尽，死还为气”（《论衡·论死》）。这些解释，在现在看来是有很多不科学的地方，但在当时却是一种很了不起的科学见解。

元气学说对后世有很深的影响，历代都有人继承和发展这一学说，使之成为历史上一种重要的科学理论和科学思想。但是，在历史上这一学说一直停留在思辨性认识的阶段，而不能使之深化，提高成真正的科学理论。





## 第四章

# 中国传统科学技术的发展

(隋唐宋元时期, 581 ~ 1368)

这个时期，是中国历史上政治、经济、文化最为发达的时期，也是科学技术发展的鼎盛时期。在业已形成的传统科学技术的基础上，这一时期的科学技术得到了全面的发展，取得了一系列极其辉煌的成就，其中有不少是划时代的发明创造，在世界文明史上写下了光辉的篇章。

### **“文明之母”——印刷术**

印刷术是中国的一项伟大发明，也是中国对世界文明发展的一项伟大贡献。从技术上说，它在历史上经历了两个发展阶段，一是雕版印刷阶段，一是活字排版印刷阶段。

雕版印刷术至迟在公元7世纪下半叶的唐代初期已经问世，初时被用来印刷佛教的经典。目前已发现的最早的印刷品，是在韩国发现的木刻印刷佛经《陀罗尼经》，刻印于公元701~751年之间，一般认为是在中国印刷后传入韩国的。在唐时，印刷术主要流行于民间，除用来大量印刷佛经外，还被用来印刷文化书籍和医药、历法等书。五代以后，印刷术开始被官方重视，用来印刷儒学经典。

雕版印刷术的工艺比较简单，一般是选取纹质细密坚实的木材作原料，锯成一定大小的木板，然后刨平，在其上把要印刷的文字或图像刻成反写阳文（凸字），再刷墨印刷。尽管雕刻费时，但因工艺简单，印出的印刷品清晰，

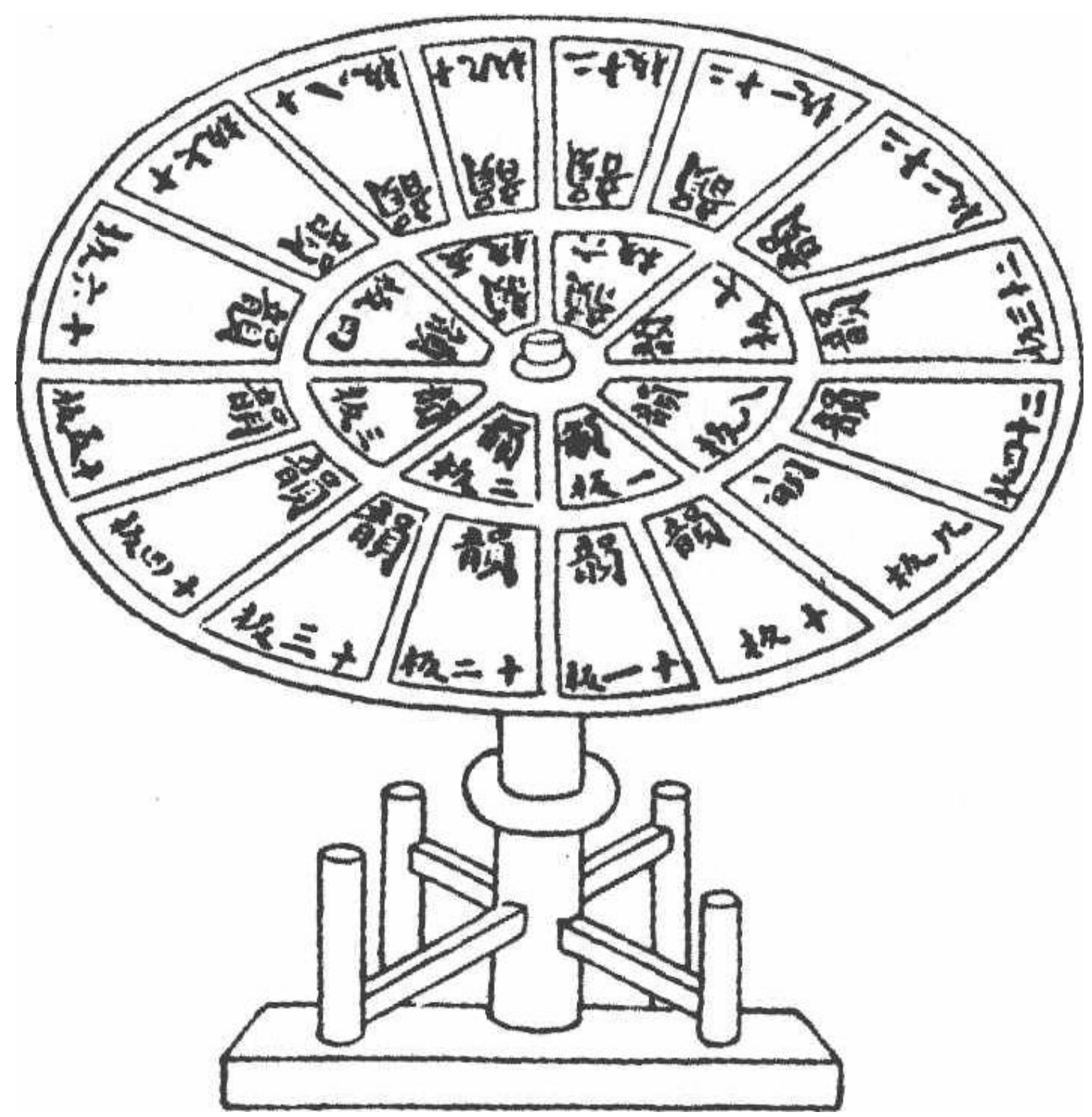


故一直被沿用到清末。除木雕版外，也有用铜版、石版刻字印刷的。

活字印刷术是北宋庆历年间（1041 ~ 1048）由毕昇发明的。其方法是：用黏土制成大小相同的一个个印坯，每个印坯刻一个字，常用字则刻几个到二十几个，然后用火烧烤，使陶化变硬而成泥活字。泥活字按音韵分门别类放在木格里备用。印刷时用两块铁板，四周加铁框，在框内排版。铁板上先铺施一层松脂、蜡和纸灰等混成的黏合剂，字排满铁板后用火稍加烘烤，使松脂和蜡稍为融化，粘住泥活字，再用一块平板将字面压平，就可以刷墨印刷了。两块铁板一块排字，一块印刷，交替使用。印完的版仍用火烘烤，使松脂和蜡稍融，取下活字，放回木格以备再用。排版时遇到原来没有刻成的活字，可现做现用。活字印刷克服了雕版印刷一块只印一页，无法再变动，因而费工费料的缺点，而且提高了工作效率，是印刷技术上的重大进步。

毕昇还试过使用木活字印刷，但因木理有疏有密，沾水后伸缩度不同，版面高低不平，且木印会与黏合剂粘连，难于清除，故废弃不用。元代时，王祜成功地利用木活字进行印刷，在公元 1298 年印制《旌德县志》，不到一个月就印了 100 部。他对活字印刷工艺有不少改进，其中突出的有两项。一是排版时用竹片把每行的字夹住，再用小木块、木屑填紧，克服了用黏合剂的麻烦和缺陷。二是发明了转轮排字架。他用木板制成直径七尺的大轮盘，放在三尺高

的轴上，轮盘可绕轴转动。轮盘上按音韵划分成一个一个的区域，分门别类地放置木活字。排版时，一人唱字，一人坐在两个轮盘中间，取出所需活字。后来，在活字印刷术中又有人创制了锡、铜、铅等金属活字，但因古代使用的不是油墨，刷墨着色效果不佳，故未能推广普及。



王禎转轮排字架图

大约从 12 世纪起，中国的雕版印刷术先后传到埃及、伊朗，欧洲在 14 世纪末也开始采用雕版印刷术。十三四世纪时活字印刷术也先后传入埃及、伊朗、欧洲。印刷术在欧洲的应用，大大促进了文艺复兴运动，加快了世界进入近代历史阶段的进程。

指南针与航海

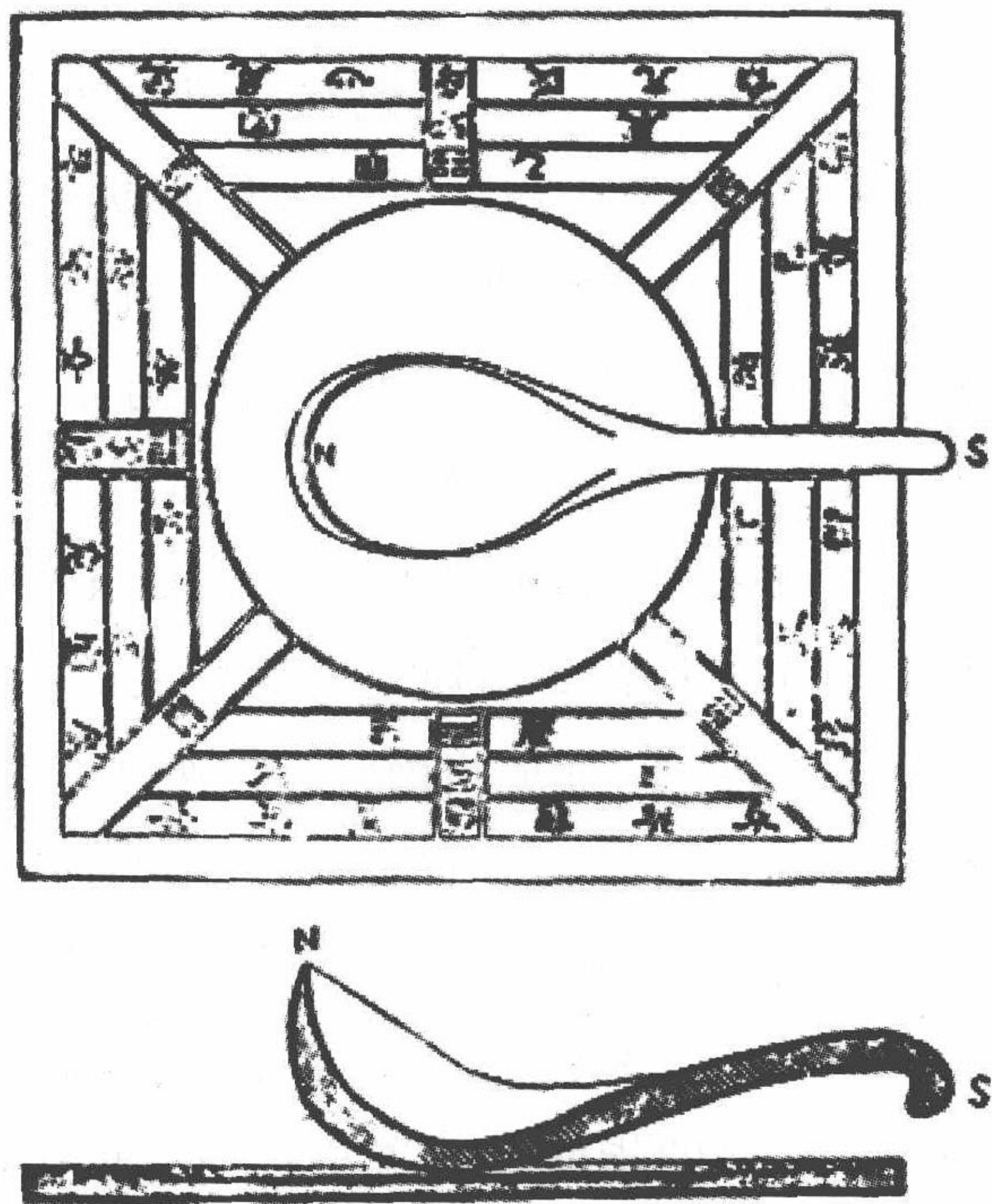
利用磁铁的指极性制造指南仪器，是我国古代的一项伟大发明。在先秦的典籍中，就有“先王立司南以端朝夕”

(《韩非子·有度篇》)的记载,“端朝夕”也就是正四方。在王充《论衡·是应篇》中,更记有“司南之杓,投之于地,其柢指南。”“司南之杓”是用天然磁铁琢磨成杓状,“地”是一种标有24个方位的地盘,“柢”就是杓柄,也就是把杓状磁铁放在地盘上,它的柄会指向南方。但是,天然磁铁琢磨不易,且会失磁,故未能推广使用。

大约在唐末或宋初,人们发明了人工磁化方法,制造出了指南针。指南针最初是由风水先生发明的,他们用铁针摩擦磁铁,使其磁化,而成指南针。据沈括《梦溪笔谈》记载,最初的指南针有四种装置方式,即水浮法,把磁针横贯灯芯草,让它浮在水面;放在碗唇上;放在指甲上;用丝线拴在磁针中心,悬挂起来。当时,人们已经发现了地球的磁偏角。后来的指南针装置法,一般是在地盘(古时又叫罗盘或罗经盘)中心挖一圆洞,内盛水,放进横贯灯芯草的磁针,就成为水罗盘。明末之前,普遍使用的都是这种水罗盘。

指南针的最大功绩,是它大大地促进了航海事业的发展。我们的祖先很早就海上活动,山东大黑山岛发现的母氏社会遗址,反映了先民们在六七千年前就开始了海岛生活。秦始皇时,徐福带数千童男童女东渡日本,开创了大规模远航的先河。汉唐时,我国的商船已活跃于太平洋和印度洋上,与东北亚、东南亚、南亚、西南亚以至非洲东海岸的众多国家有着频繁的海上交通关系。在指南针应用于航海之前,海上远航是靠观测日月星辰来辨别方向的。



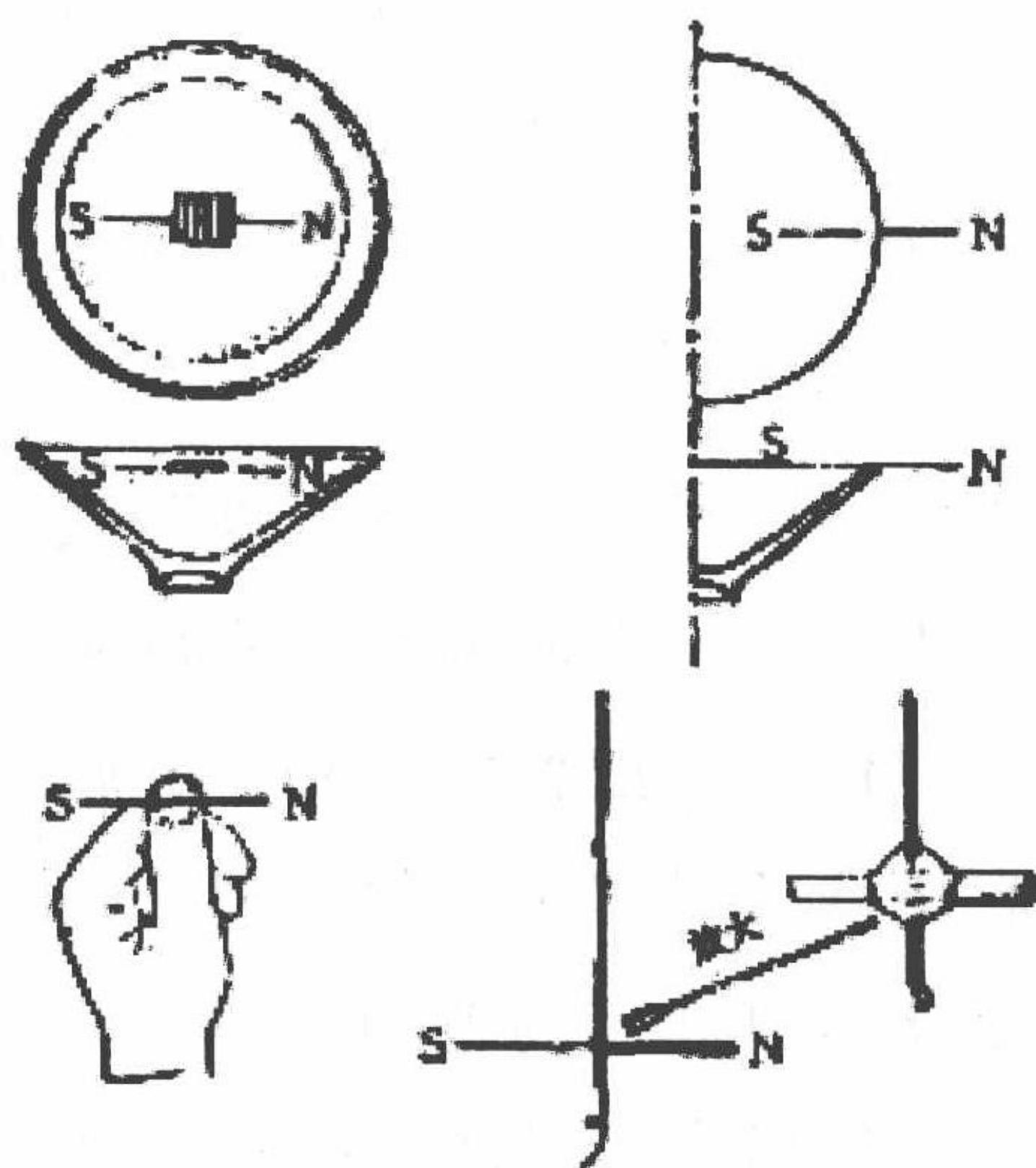


司南复原图

如果遇到阴雨天气，茫茫的大海之中水天一色，只好随波逐流，听天由命了，迷失方向的事故是经常发生的。指南针的出现，为航海者提供了可靠的全天候导航手段。我国大约在 11 世纪末开始把指南针应用于航海。

指南针在航海中的应用，引发了航海技术的重大变革，开创了一个人类航海的新纪元。李约瑟博士说，这是“航海技术方面的巨大改革”，它把“原始的航海时代推至终点”，“预示计量航海时代的来临”<sup>①</sup>。我国宋元时期航海事

① [英] 李约瑟：《中国科学技术史》第 29 章。



初期指南针装置方式示意图

业的高度发达，明初的郑和下西洋，以及欧洲人大航海时代的到来，都与指南针的发明和应用密切相关。

中国的指南针大约在 12 世纪下半叶由海道传至阿拉伯，再传入欧洲。同时可能也由陆路传到中亚地区，再传至欧洲。欧洲人在应用过程中对指南针装置进行了改进，发明了有固定支点的旱罗盘，同我们现在常用的一样。旱罗盘在 16 世纪下半叶时回传中国，从而逐步取代了水罗盘。

## 火药和火药武器

在《西游记》中，孙悟空进入太上老君的炼丹房，把五个葫芦里的“九转金丹”全部吃掉，后来被抓，放进八卦炉烧炼的故事，大家都已非常熟悉。这个神话故事虽然是文学家编造出来的，但却是有历史事实作素材的。至迟

在春秋战国时期，就有人在寻觅长生不老药，秦始皇派徐福带领童男童女出海，也是为了求长生不老药，汉武帝更是招致方士进行炼丹活动。从此，炼丹风气便在上层社会中盛行。道教创立后，有一部分道士专门从事炼丹，企图炼制“九转还丹”（也就是“九转金丹”），希望人吃了可以脱胎换骨，长生不老，得道成仙。炼丹家的目的当然是不可能实现的，但他们在把各种矿物、金属以及植物作为药物，混在一起烧炼的过程中，却发现了物质的变化，进而认识到物质变化是自然界的普遍规律。同时，他们炼出了许多化学药物，积累了大量的化学知识。关于火药的知识，就是由炼丹家首先积累起来的。

火药，顾名思义就是“着火的药”。至迟在唐中叶时（9世纪）炼丹家就已经认识到，把硫磺、硝和炭混在一起加热，会发生爆燃，引起火灾，烧伤人的手面，烧毁房屋。因此，以硫磺、硝、炭为主要成分配成的药，就叫火药。火药引入医学，便成为医药，用作治疮癣、杀虫、辟湿气瘟疫的药物。火药引入军事，便成为火器，在军事科学技术方面引起了重大的变革。

大约在10世纪初的唐代末年，火药开始在战争中使用。唐哀宗天祐年间（904~907），有人在战争中使用了火箭、火炮。火箭是把火药缚在箭头附近，点燃后用弓射出；火炮是把火药捆扎成包，点燃后用抛石机抛射。五代时，除火箭、火炮外，还制成了火球、火蒺藜等。初期的火药武器，爆炸性能不佳，主要是用来纵火。



宋代是火药武器的重要发展时期，其成就主要体现在如下两个方面：

一是爆炸性能增强。北宋曾公亮主编的《武经总要》（成书于1044年）中，记载有三个火药配方，其中硝、硫、炭三者的比例分别为60%：30%：10%；61.54%：30.77%：69%；74%：26%，<sup>①</sup> 接近后世黑火药的比例。<sup>②</sup> 《武经总要》中还记载有一种“霹雳火球”，点燃后声如霹雳，这是制造爆炸性火药武器的开端。随着硝、硫提炼精度和加工工艺的提高，火药的爆炸性能也不断增强。据《金史》记载，公元1232年，元兵攻打金南京（今河南开封）时，金兵曾使用一种叫“震天雷”的武器，“火药发作，声如雷震，热力达半亩之上，人与牛皮皆碎迸无迹，甲铁皆透”，可见爆炸威力之强。

二是管形火器的出现。这是军事史和兵器史上的一个重大事件，表明人们已在更高层次了解了火药的性能，能够更加有效地控制和操纵烈性火药。最先出现的管形火器是火枪，是公元1232年发明的。它用巨竹制成，用以喷射火焰。公元1259年，又发明了突火枪，也是用巨竹制成，内安子窠，点燃后“子窠发出，如炮声，远闻百五十余步”（《宋史》卷一九七，一步为五尺）。这是后世火炮的原始形式。到了宋末或元代，管形火器已改用铜或铁制造，大型

---

① 第三个配方没有炭。

② 现代黑色标准火药的硝、硫、炭的比例，美国为74%：10%：16%；德国为75%：10%：15%。

的叫火銃，小型的可拿在手上的叫手銃，已经具备近现代枪炮的雏型。

公元十二三世纪，火药及火药武器经海上交通和陆上蒙古兵西征，先后传入伊朗、阿拉伯和欧洲，并成为文艺复兴时期攻破封建城堡的有力武器。

### 丝绸与丝绸之路

丝绸亦是中国的一项伟大发明。在古代的传说中，有黄帝正妃西陵氏的女儿嫫（léi）祖的故事，说她把野蚕家养驯化，又教人们怎样养蚕，从此才开始养蚕缫丝，织造缣帛。这反映了中国很早就已进行丝织生产。现发现的最早的丝织品是浙江吴兴钱山漾新石器时代遗址出土的一段丝带和一小块绢片，在河姆渡遗址中也发现有养蚕和丝织品的迹象。华贵而舒适的丝绸，受到了权贵们的重视。中国很早就能织造精美的丝绸。马王堆汉墓所出土的丝织品，其高超的工艺至今仍为人们所赞叹。到了唐宋时期，丝织工艺已经达到娴熟精湛的程度。丝织品的花色品种和数量都比以前有显著增加。

唐代丝织工艺的一个重要特点，是纬锦和花纱的大量生产。所谓纬锦是指以纬线显花的锦织物，它与以经线显花的锦相比，受织机的限制较小，而且增强了织物的色彩，丰富了织物纹样的内容。花纱是在纱底上印染花纹而成。

宋代除了继承和发展以往的丝织物外，还以缂（kè）丝驰名。缂丝又称刻丝，是我国独特的工艺制品。其特点





马王堆汉墓出土的对鸟菱纹绮

是把绘画或书法艺术移植到丝织品上，既保持了原作的形象和风格，又具有丝织物纤细精巧的特色。织成之后，绘画、书法犹如是在丝织品上刻镂而成，具有极高的艺术价值。

中国的丝织品很早就传至国外，并以此闻名于世界。历史上有不少国家把中国称作丝国。在欧洲曾发现公元前5世纪以前的丝绸，表明那时中国的丝绸已进入欧洲。古代埃及和罗马都把中国的丝绸看作“光辉夺目，人巧几竭”的珍品。古罗马的凯撒大帝曾经穿过一件中国丝袍到剧场看戏，引起全场轰动，被看作是绝代的豪华。公元前后，由于丝绸的大量输入，曾引起罗马货币大量外流，罗马帝



国的当权者提比利乌斯曾试图禁止罗马人穿用丝绸织品，但未能成功。汉时，伊朗人和阿拉伯人为了垄断丝绸的贸易，甚至想方设法阻挠中国与罗马帝国的直接交往。

由于在中外交通中，丝绸的贸易占了很大的分量，所以现在一般都把中外交通的通道，包括陆路和海路，称为丝绸之路。

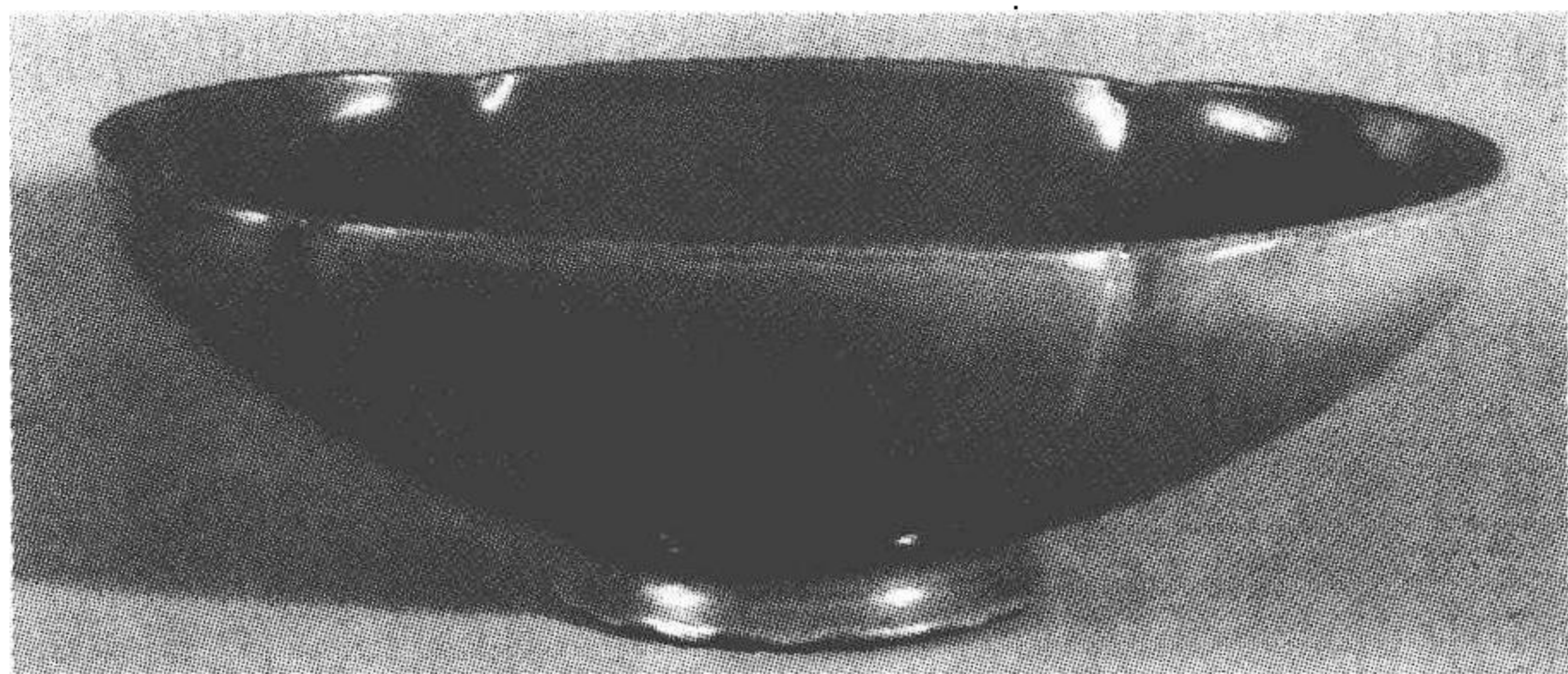
### **“千峰翠色” 话名瓷**

在世界文明史上，瓷器与丝绸一样，也是中国的一项带有鲜明民族色彩的独特贡献。

瓷器的出现经历过一个漫长的发展过程。在商周时期的烧陶过程中，就烧制出类似后世瓷器特征的器物来，现人们一般称之为原始瓷器。而瓷器的有意识地大量生产，则是从公元1世纪时的东汉时代开始的。

瓷器的特点是坯胎以白色高岭土（也叫瓷土）为原料，表面施有玻璃质釉，在1200℃左右的高温下烧成，成品的吸水率低，质地坚硬细致，敲击有清脆的音响。瓷器颜色主要由釉里所含的金属元素决定。青瓷的釉里含有铁元素，在还原焰里烧制，而生成氧化亚铁。氧化亚铁的含量在0.8%~5%时，瓷釉呈青绿色，颜色由淡到浓，如超过5%，则颜色成暗褐色，甚至黑色。白瓷是单纯的石灰釉，要求坯料和釉中铁的含量越少越好。而红色的瓷器是由胶态单质铜的呈色作用引起的，青花瓷釉中则含有钴元素。

经历了魏晋南北朝的发展，到了唐宋时期，我国的制

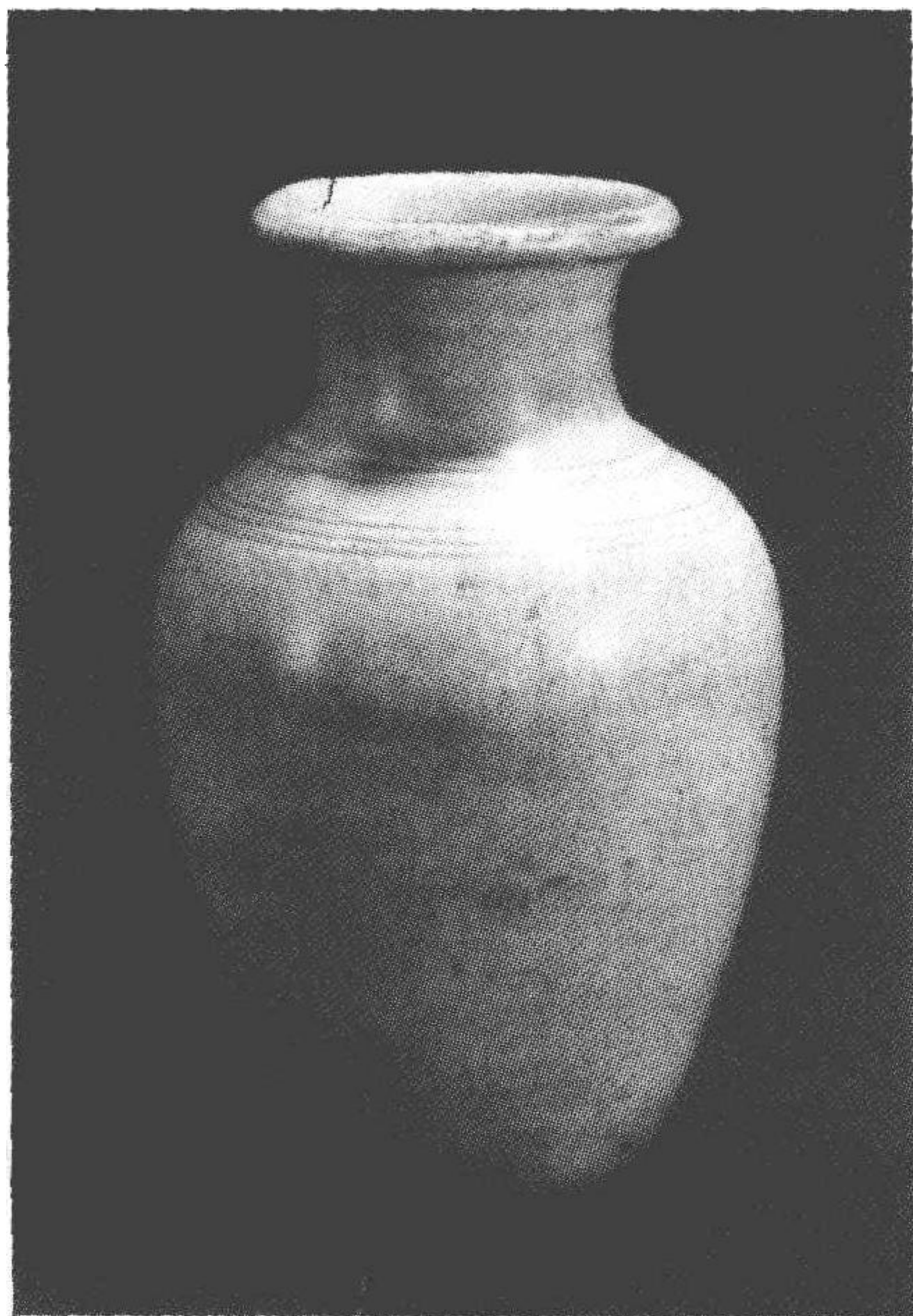


唐越窑海棠式碗

瓷技术已达到相当精熟的程度。这时期的瓷器主要分为青瓷和白瓷两大类，出现了一批著名的瓷窑。

青瓷以越窑为代表。越州（今浙江绍兴一带）青瓷质地细腻，明澈如水，莹润似玉。陆龟蒙的“九州风露越窑开，夺得千峰翠色来”；孟效的“越瓯（ōu）荷叶空”；韩偓的“越犀玉液发茶香”等诗句，生动地描绘了越州青瓷的色泽和质地之精良。

白瓷，唐时以邢窑为代表，宋以后以景德镇窑



唐邢窑瓶

为代表。邢州（今河北邢台一带）白瓷的胎和釉都很洁白，质地细润，似银类雪，和越州青瓷齐名。唐时四川大邑的白瓷也很精良，胎薄而坚致，色白声清。杜甫有诗赞颂说：“大邑烧瓷轻且坚，扣如哀玉锦城传。君家白碗胜霜雪，急

送茅斋也可怜。”景德镇被誉为瓷都，宋元明清时一直是瓷器的重要生产中心，至今仍闻名世界。宋元时它除生产白瓷外，还生产其他的多种瓷器。那时瓷器的装饰有划花、绣花（用针刺）、锥花、堆花、釉里红、青花等。明清时则由此发展出斗彩、五彩、粉彩、珐琅彩等色彩缤纷艳丽的瓷器。福建的德化窑以生产建白著名，特别是明代的象牙白佛像，至今被举世视为珍品。

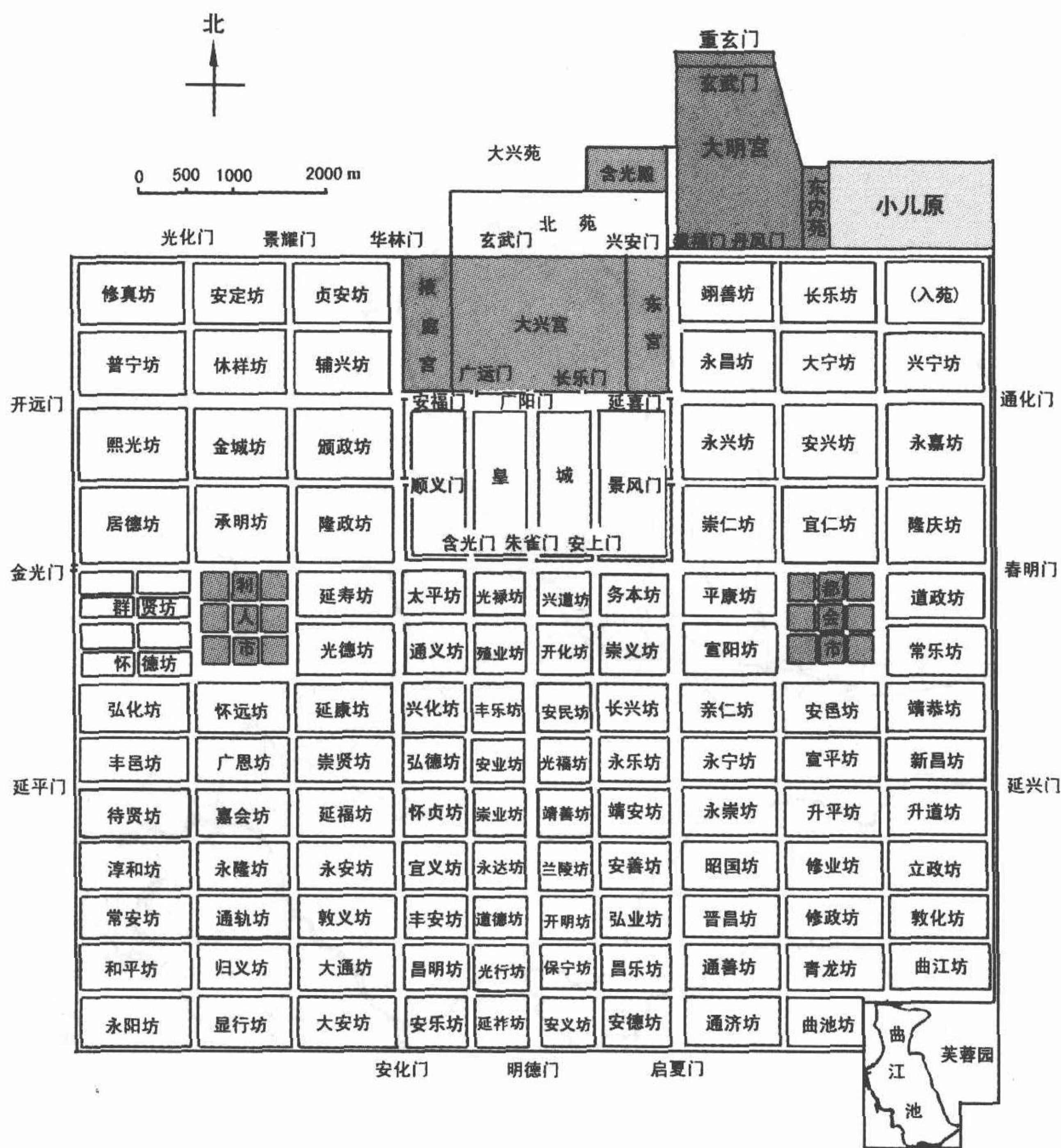
瓷器是唐宋以降我国出口的大宗商品之一，现在世界许多国家都出土或珍藏有我国的古瓷。因此，有人也把我国的对外交通渠道（特别是海道）称为陶瓷之路。

### 长安城和大运河

大家都知道，西安是中外闻名的古都，但它之所以闻名主要应归功于隋唐时代的营建。

公元581年，隋文帝杨坚统一全国后，仍以西汉的首都长安为国都。但汉长安城距当时已有近800年，显得狭小，破旧又混乱，不适应政治、经济、文化发展的需要。因此，第二年隋文帝便下令在汉长安城东南的龙首山南平原上兴建新都城。新城是由隋代著名建筑学家宇文恺设计并主持建造的。整个城市设计合理、规整，布局东西对称，里坊区划分明，体现了我国古代城市规划和建设的高超水平。全城面积84平方公里，是当时世界上最大的城市。而且，其建设速度也创造了世界史上的奇迹。它于公元582年7月开始兴建，583年4月即迁入使用，前后只花了九个月的时间。



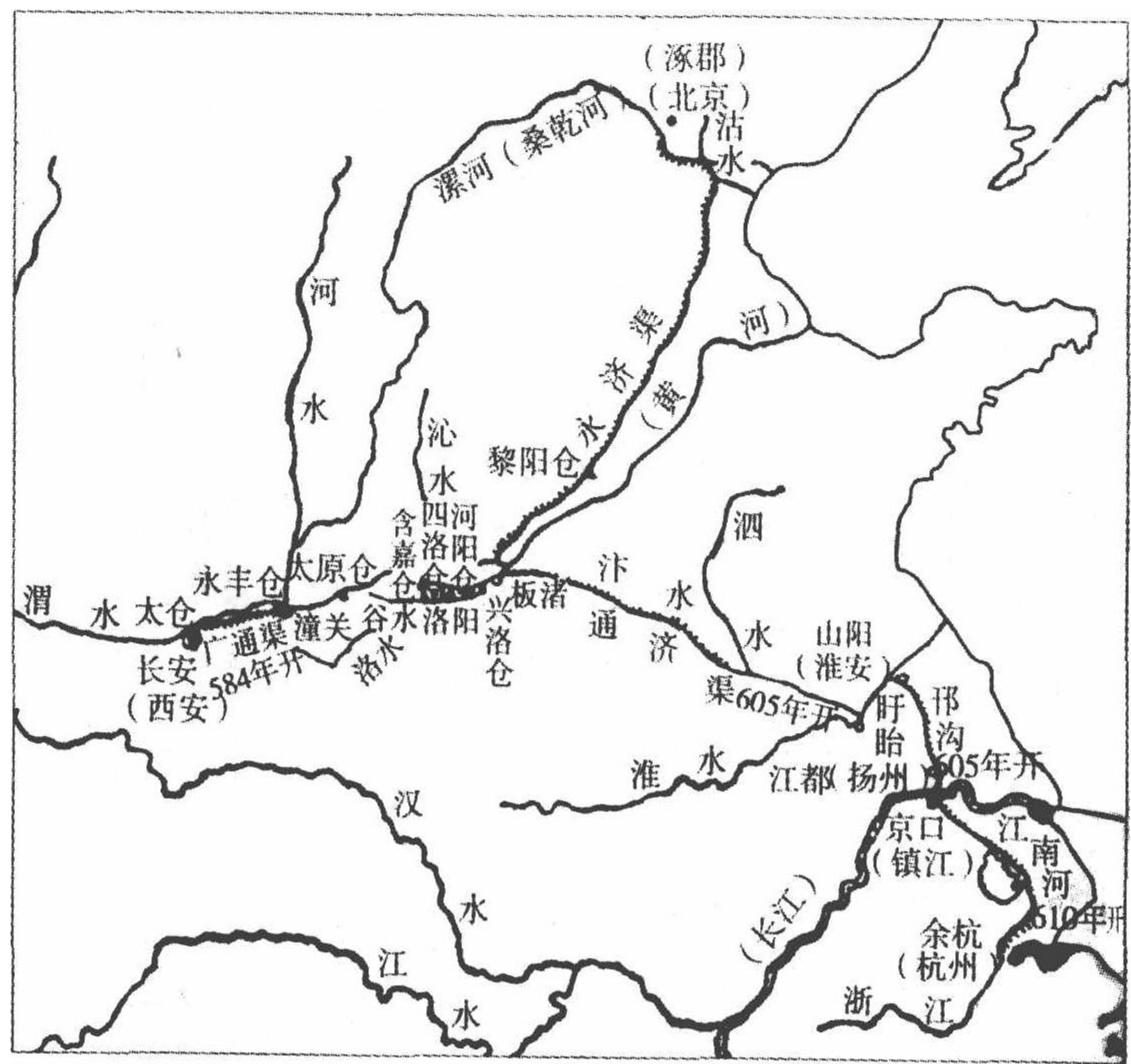


隋唐长安布局图

间，速度之快令人震惊。据推测，工程动用人工 200 万人以上，人力、物力的组织和管理也是极其了不起的。隋代称新都城为大兴城，唐代改名长安城，并对宫城进行扩建。可惜的是，在唐末的战乱中，长安城被烧毁。后来明代重建的长安城，只有隋唐时的七分之一。

隋代的另一项特大工程是大运河的开凿。大运河工程共分三期完成。第一期工程于公元 605 年进行，西起东都洛

阳西苑，引洛水、谷水入黄河，又引黄河水入淮河，到达山阳（今江苏淮安），再疏浚战国时吴国开凿的邗（hán）



隋运河图（括号内为今地名）

沟到达江都（今江苏扬州），把淮河水引入长江，命名通济渠。第二期工程于公元 608 年进行，在洛阳附近的板渚引沁水南通黄河，又引黄河水北流，到达涿郡（今北京），称永济渠。第三期工程于公元 610 年进行，从京口（今江苏镇江）起到达余杭（今浙江杭州），沟通长江和钱塘江，叫江南河。大运河全长 2 700 多公里，是世界上最长的运河。后来元代定都北京后，进行了运河改道工程，形成京杭大运河。大运河在历史上对于南北经济、文化的交流，曾发挥



重大的作用。

### 一行、郭守敬和大地测量

这时期，我国涌现出一批杰出的天文学家，一行和郭守敬便是其中的两位佼佼者。

一行（683 ~ 727），俗名张遂，魏州昌乐（今河南南乐县）人，20岁时出家为僧，隐居于河南嵩山等地。一行在天文学上的主要贡献是编制了大衍历。他于开元九年（721）接受了编制历法的任务。

一行从天文学的历史发展中，认识到日、月、星辰的运动是有一定规律的，通过细心地观测，可以了解这些规律。但由于人的认识水平是有限的，故根据所总结出的这些规律进行的推算，与实际天象会存在一定的误差。而从实测中，可以修正这些误差，经反复地观测、修正，就可以得到比较正确的结果。因此，为了使历法与实际天象相符，他坚持进行实际观测，从而纠正了不少前人的错讹，把我国古代历法的制订工作提高到一个新的水平。

同时，为了使历法适用于全国各地，一行领导进行了大规模的大地测量。他还发明了一种叫“复矩”的专用仪器，供测量各地北极高度（即纬度）用。测量地点共选择12处，分布范围到达唐疆域的南北两端。他从实测中得出南北两地相差351里80步，北极高度相差一度的结果。中国古制一里 = 300步，一步 = 5尺，一周天为  $365\frac{1}{4}$  度，换



算为今制，即南北相距 129.22 公里，北极高度相差  $1^\circ$ 。这实际上就是地球子午线  $1^\circ$  的长度，与现测值  $1^\circ$  长 111.2 公里相较，一行的结果虽误差较大，但这毕竟是世界上第一次对子午线的实测，具有重大的科学意义。

经过几年的测算，公元 725 年一行开始编修新历。公元 727 年完成了《大衍历》草稿后，他就去世了。《大衍历》共分七篇，从内容到结构都很有系统，在明末用西欧方法编历之前，各次修历都是仿照它的体例进行的。

郭守敬（1231 ~ 1316），字若思，河北邢台人。他与元代一批天文学家共同制订的《授时历》，是中国古代最优秀的历法，一直沿用到清初。为了制订《授时历》，他继一行之后，又组织了一次空前规模的大地测量。在北京、太原、成都、雷州等 27 处设立了观测点，南达西沙群岛，北至北极圈附近的北海。无论地理范围和规模，还是观测精度，都远远地超过了一行。他在天文仪器的制造方面，更有卓越的贡献，这将在下面再加以介绍。此外，他还是一个水利工程专家和地理学家。

### 浑仪、浑象、漏刻和圭表

这个时期，我国的传统天文学发展到最高峰。天文学各方面的水平都有较大的提高，这里我们仅举几种天文常数为例，即可见其一斑。

关于回归年长度，南宋《统天历》（1199 年编订）和元代《授时历》（1281 年编订）都取 365.242 5 日，其误差

约 22 秒。现在我们所采用的公历就是这一数值，它是罗马教皇格里高里于 1582 年颁行的。《统天历》中还明确提出回归年长度值古大今小的新概念，并给出古今变化规律的数学表达式，这在天文学史上具有重要的意义。

关于冬至时刻的测定，郭守敬等人的结果误差小于 0.5 刻（1 刻等于 14.4 分钟）。

关于赤道岁差值的测算，南宋时取得了 77.57 年差一度的结果，较理论值 77.37 年差一度，非常接近，在当时世界居于领先地位。

在交食周期研究方面，南宋取得 4 127 个交点月与 324 个食年长度相当的结果，可推算一食年长度为 346.619 9 日，与理论值之差仅约七秒钟。而唐时测定的食年长度为 346.621 2 日，与理论值相差 137 秒钟。19 世纪美国天文学家纽康提出与此等价的结果，备受天文学界推崇，被称为纽康周期，但却比我国晚了 1000 余年。

.....

天文学的崭新成就，历法的进步，是与观测仪器的进步分不开的。这时期，我国古代的观测仪器都有很大的进步。

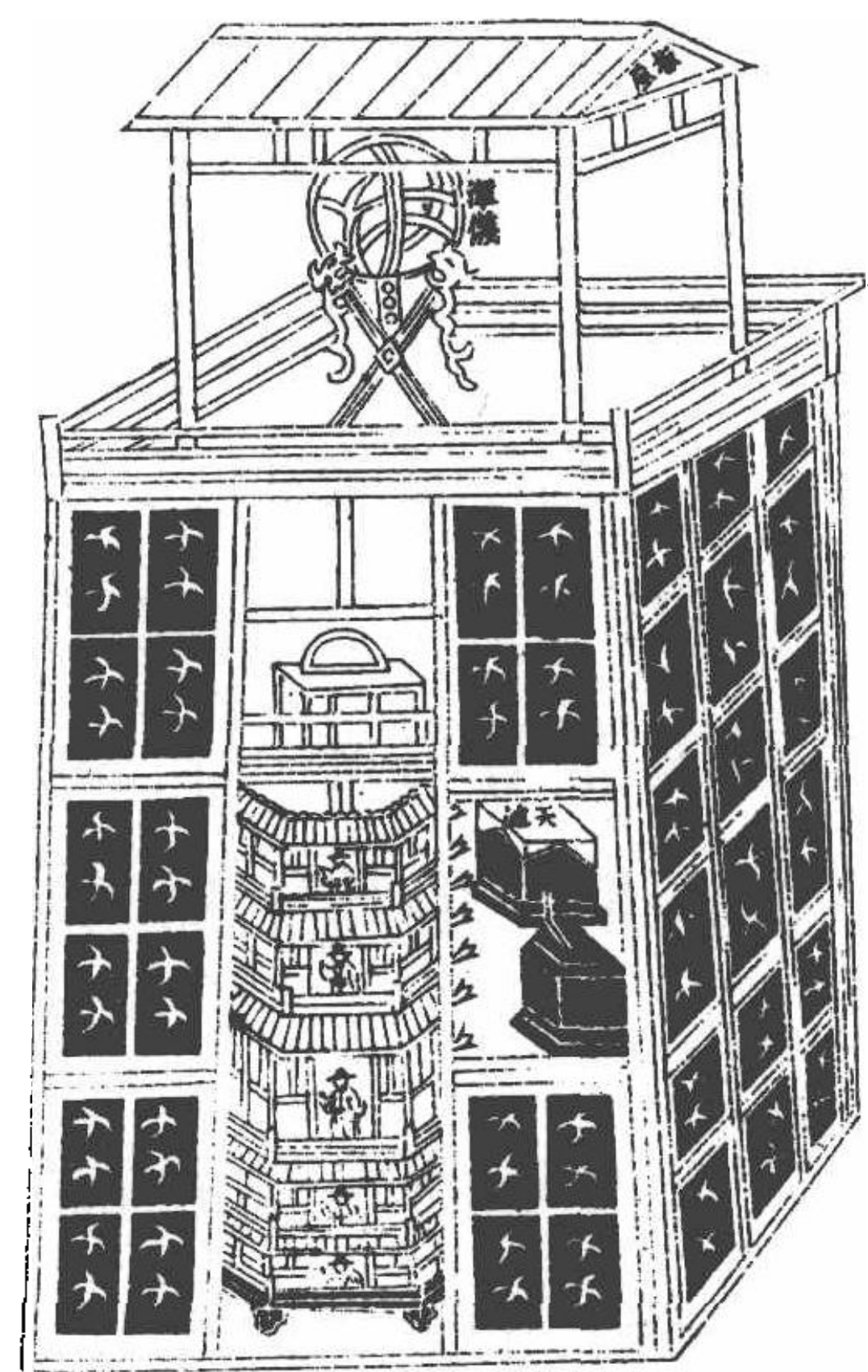
浑仪 前面我们曾讲到张衡改进过浑仪，张衡之后历代又都有所改进。特别是唐宋时期，不少人都制造了新的浑仪。

随着浑仪的改进，环圈也不断增长，以致有八九个之多，遮掩了很大的天区，校正、安装、运转都很不方便。

所以宋以后浑仪出现了两个方面的变革，一是减少环圈，二是改变一些环圈的安装位置，以扩大视野。

宋代的沈括就提出改变环圈位置的建议，并取消白道仪。郭守敬进一步取消了黄道环，并创制了简仪。简仪设计新颖，结构独特，是浑仪史上的一次革命。它的赤道装置是近代大型望远镜赤道装置的原型，地平装置是近代地平经纬仪的先驱，窥衡里所用十字线是现在天文望远镜里十字丝的祖先。

水运仪象台 一行在张衡水运浑象的基础上，设计制造了一台“水运浑天”。其结构，除有可自动运转的浑象外，还安装了自动报时器，这是近代天文钟的滥觞。到北宋时，天文学家和医药学家苏颂，又主持制造了“水运仪象台”。它高达 12 米，宽约七米，把浑仪、浑象、报时器和圭表合成一体。仪象台以水力为动力，通过复杂的齿轮系带

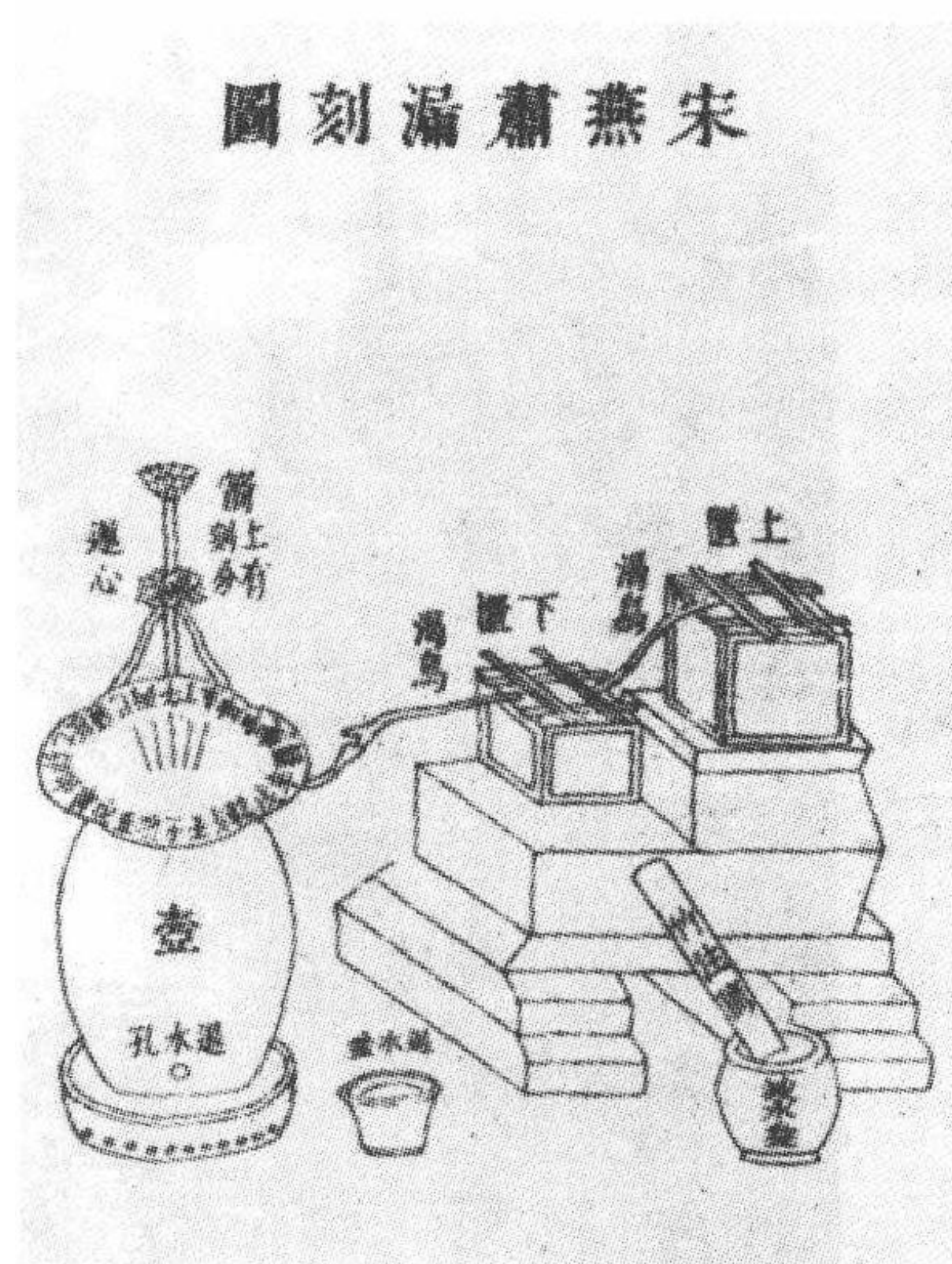


水运仪象台外形图

动运转，能与天球的昼夜旋转相吻合，又设置有木人，会击钟、击鼓、击钲报告时刻更筹的消长。其中已创制有近似近代机械钟表里锚状擒纵器的装置，是近代天文钟的鼻祖。台顶设有可活动的屋面板，开了近代天文台可开启屋顶的先河。



漏刻 是我国古代的一种计时仪器，有水漏（浮漏）和沙漏二种，而以浮漏为主。公元 1031 年，北宋的燕肃对浮漏进行了重大的改进。他首次采用漫流系统，即让浮漏中的水一直处于漫流状态，使多余的水从浮漏上部小孔流出，保证了浮漏有恒定的水位，提高了计时的准确性。



燕肃漏刻图

圭表 是我国古代测量日影长度的仪器。元以前都是用八尺高表，郭守敬进行了大胆创新，设立了四丈高表和景符测影法。即在高表顶端安一根直径三寸的铜横梁，景符是安在一个小框架上可转动的薄铜片，中间开一小洞。当太阳过子午线时，把景符放在水平的圭面上南北移动，并转动铜片，让通过表顶的光线穿过小孔，在圭面上形成米粒大小、正中带有铜梁横影的影像。这样，就克服了以往测影时因阳光散射使影子不清的缺陷，提高了测量精度。在光学测量仪器发展史上，这是一个具有重大意义的成就。现今河南登封观象台故址，还保存着郭守敬所创高表的遗址。

### 沈括和《梦溪笔谈》

沈括（1031 ~ 1095），字存中，钱塘（今浙江杭州）



登封观象台

人。他是北宋时期杰出的科学家，在科学的许多领域，他都有很深的造诣。史书中说他：“博学善文，于天文、方志、律历、音乐、医药、卜算无所不通，皆有所论著”（《宋史·沈括传》），李约瑟更称他“可算是中国整部科学史中最卓越的人物”。<sup>①</sup>

《梦溪笔谈》是沈括晚年居住在润州（今江苏镇江）梦溪园时所著。书中记述了他一生的见闻和研究心得，内容涉及面极其广阔。其中有关科学技术的条目占 1/3 以上，涉及到数学、天文、历法、物理、化学、地理、气象、地质、冶金、兵器、水利、建筑、动植物以及医药等领域。《梦溪笔谈》现在被视为百科全书式的著作，也是科技史上的珍

---

<sup>①</sup> [英] 李约瑟：《中国科学技术史》中译本第一卷，第 289 页，科学出版社，1975 年版。



贵文献。

沈括在科学方面的贡献是多方面的，比较突出的有：

**数学** 他开创了中国古代数学中“隙积术”和“会圆术”的研究方向。隙积术属于高阶等差级数的求和问题，他创立了正确的求解公式。会圆术是已知弓形的圆径和矢高求弧长的问题，也给出了求解的近似公式。

**天文历法** 他极其重视天文观测，为测验北极星与天北极的距离，曾亲自设计能使北极星保持在视场之内的窥管，连续观测三个月，每夜测三次，画了200余张图，从而得出当时的北极星离天北极三度有余的结论。他第一次提出冬、夏至时一天的长度不相等的结论，提出冬至日一昼夜“百刻而有余”，夏至日一昼夜“不及百刻”。他坚持“月本无光”，“日耀之乃光耳”的科学认识，并用弹丸一半涂粉后，侧视如钩，正视为圆，形象地演示月亮盈亏现象。他还提出改进浑仪、浮漏、影表的意见和设计方案。他提出的十二气历，可以弥补节气在各月份分布不均的缺陷。英国于20世纪30年代用于统计农业气候的萧纳伯历，与十二气历相似，但比沈括晚了800多年。

**物理** 沈括对凹面镜成像进行了研究，已经发现焦点，并提出物体在焦点处不成像，比墨家的研究前进了一大步。为了论证声音的共振现象，他进行了共振实验。他剪一纸人，放在琴的基音弦上，拨动相应的泛音弦，纸人就会跳动，而拨其他弦则纸人不动。拨另一张琴的应弦，纸人也同样跳动。在欧洲同样的实验，直至17世纪方出现。



地学 他发现了太行山有螺蚌化石，并推论这里过去曾是海滨，进而指出华北平原是冲积平原，是由黄河、漳河、滹（hū）沱河等夹带的上游泥沙沉积而成。这是世界上对冲积平原成因的最早科学见解。他曾绘制《天下州县图》计 20 幅，其中有全国大地图一幅，小地图一幅，分图 18 幅，并创制了立体地形模型。

.....

除了自己的研究成果外，《梦溪笔谈》中还记述了当时的不少最新科技发明。如前面讲到的初期指南针四种装置方式，毕昇的泥活字印刷，都是借助于沈括的记述，方为后世所知的。

## 古代数学发展的高峰

这时期涌现了一批杰出的数学家。其中，以秦九韶（1202 ~ 1261）、李冶（1192 ~ 1279）、杨辉（约 13 世纪中叶人）、朱世杰（约 13 世纪末 14 世纪初人）最为著名，被称为宋元数学四大家。他们的突出成就，有如下几方面：

高次方程的数值解法 11 世纪时，数学家贾宪创立了解高次方程的新法“开方作法本源图”，利用图中三角形各个数值，可以求得各高次方展开式的各项系数。后来朱世杰把它推广应用至八次方。在欧洲，这个方法直到 16 世纪才由德国人阿皮纳斯得出，而法国人巴斯加在 17 世纪也得到这个结果，并被欧洲数学家称为“巴斯加三角”。至秦九韶更把这个方法推广成为任意高次方程的数值解法，比欧

洲人的同样结果早 600 多年。

**天元术和四元术** 所谓天元术就是解决一元高次方程式列方程的问题，“元”代表未知数，相当于现代数学中的  $x$ 。四元术则是把一元扩展到四元，即四个未知数的高次方程组。其解法应用的是消元法，与现在代数学中的解法一致。在这方面朱世杰作出了重大的贡献。欧洲直到 18 世纪方有人对多元高次方程组的消元法进行论述。

**高阶等差级数** 杨辉继承和发展了沈括的隙积术，郭守敬在《授时历》中应用这个方法计算日月五星的运行。同时，朱世杰创立了高次招差的一般公式，后来牛顿得到的公式与此完全一致。

**大衍求一术** 这是中国古代求解联立一次同余式方法的发展。联立一次同余式问题，最早见于《孙子算经》（成书于四五世纪），也就是有名的孙子问题：“今有物不知其数，三三数之剩二，五五数之剩三，七七数之剩二，问物几何”，“答曰，二十三”。这个问题颇有猜谜的趣味，并且它的解法也很巧妙，流传到后世，有“秦王暗点兵”、“剪管术”、“鬼谷算”、“韩信点兵”等名称，成为文娱活动的一个节目。这个问题的解法，要用到求一次同余式的共同解。秦九韶把这一解法推广到解决各种数学问题中去，其中的数据不单是三、五、七等简单数据，可以是整数、分数、小数，并系统地提出了一般的计算步骤。500 年后，欧洲著名数学家尤拉和高斯才对这类问题进行深入研究。

从上面所介绍的几方面成就，即可看到我国宋元时数

学水平所达到的程度，以及在世界数学史中所占的地位。

## 医药学的全面发展

这时期，中医学进入了一个全面发展的新阶段。在医学理论，临床各科的诊断治疗，本草学，以及医药学教育等方面，都有重大的进步。

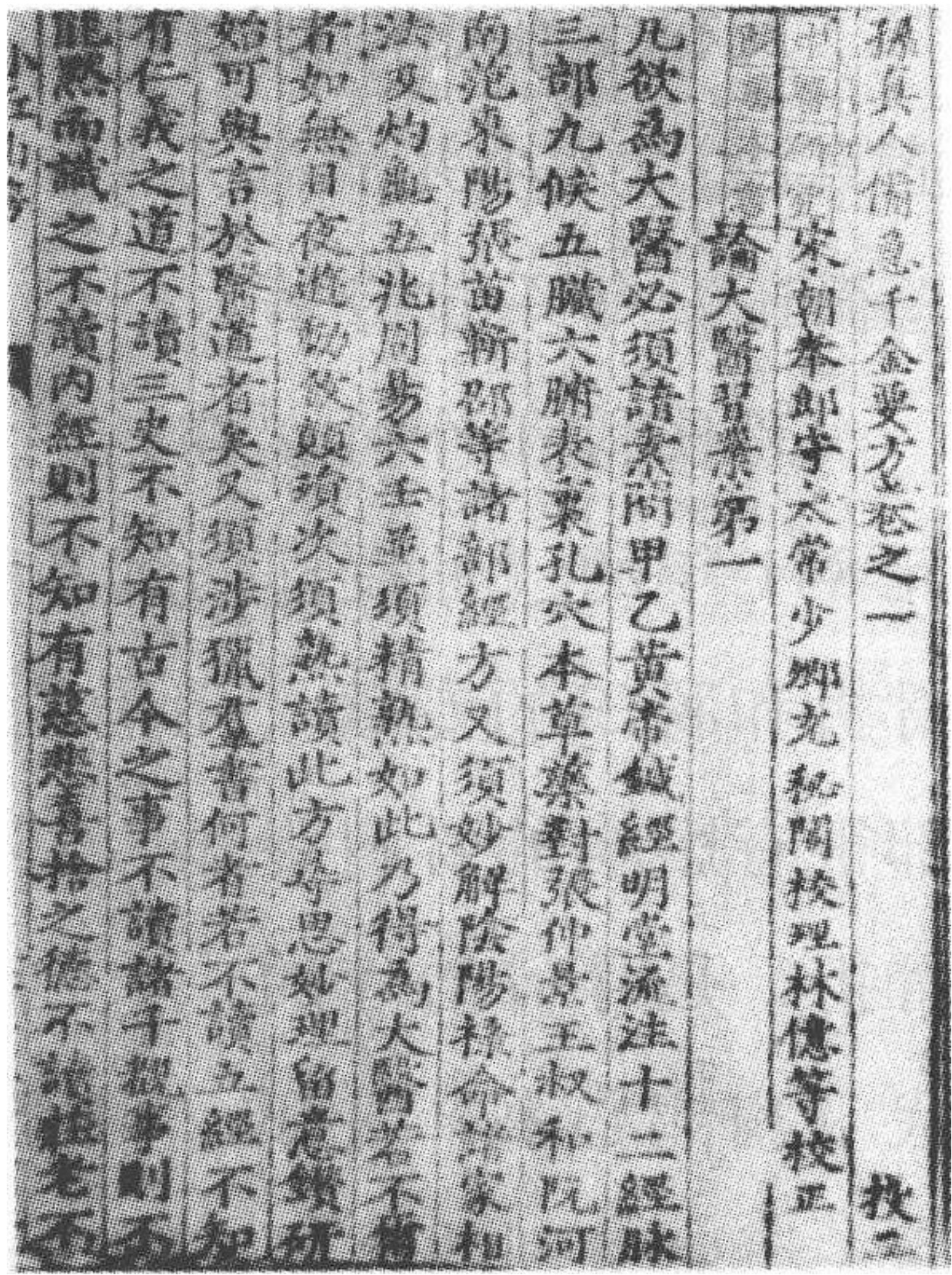
在医学理论方面，隋大业六年（610）太医博士巢元方等受命对前人的医疗经验进行总结，编著成《诸病源候论》一书。这是中国历史上内容最丰富的探讨病因病机的一部专著。全书 50 卷，分 67 门，有 1 720 论，论述了内、外、妇、儿、五官等各科疾病的病因、病理和症状。其中对一些疾病的起因有不少创见，突破了前人的定论，发现和描述了一些真正的病源。

在临床医学方面也取得了显著的进展，出现了大量的方书。其中，隋代编纂的《四海类聚方》达 2 600 卷，卷帙浩瀚，为前所未有的著作，可惜早已佚亡。现在著名的有唐代的《千金方》、《外台秘要》，宋代时官修的《太平圣惠方》、《太医局方》、《圣济总录》、《校正太平惠民和济局方》等。

《千金方》是《千金要方》和《千金翼方》的简称，作者是杰出的医学家孙思邈（miǎo）。孙思邈（581 ~ 682），京兆华原（今陕西耀县）人。一生勤奋好学，“青衿之岁，高尚兹典，白首之年，未尝释卷”（《千金要方·自序》）。他精通医学，有很深的造诣。他曾总结行医的经验，提出



“胆欲大而心欲小，智欲圆而行欲方”，作为行医准则。他改变了以往那种论病、用方、用药都照古代医经的做法，兼取各家医说和成就，结合自己的临床治疗经验，加以发展。他在医学理论、内外科、妇科、针灸，特别是在处方用药等方面，都在医药史上做出了重要的贡献，被后世尊为“药王”。



《备急千金要方》书影

更为可贵的是，他的医德非常高尚，把“不为利回，不为义疚”（《旧唐书·孙思邈传》）作为医生行为方正的标准，并身体力行。

《千金要方》30 卷，是孙思邈积 50 多年的临床经验，结合历代医学典籍而著成。其内容包括中医基础理论和临床各科的诊断、治疗、针灸、食治、预防、卫生等，并把妇科病和小儿护理放在重要的地位。《千金翼方》30 卷，是他集晚年近 30 年的经验而写成，作为对《千金要方》的补充，内容以本草、伤寒、中风、杂痢等的记述最为突出。书中计收载当时所用药物 800 多种，还补充了许多治疗方法，对外来医药也有所涉及。书名“千金”，则是取“人命至重，有贵千金”（《千金要方·自序》）之义，表达他对治病救人的重视。

儿科学在这时期受到了充分的重视，出现了《小儿药症直诀》、《小儿病源方论》、《小儿痘疹方论》、《小儿卫生总微论》等一批专著。

骨伤科和外科学在这时期也有长足的进步。成书于公元 841 年的《仙授理伤续断秘方》，是中国现存最早的治疗骨折和脱臼的专著。元代危亦林的《世医得效方》更是一部很有影响的骨科专著，其所载应用悬吊复位法治疗脊椎骨折，是骨科治疗的一大创举。书中所记“草乌散”和宋代《扁鹊心书》中的“睡圣散”，是继华佗“麻沸散”之后关于麻醉剂的重要记载。而宋代的《集验背痈方》、《外科精要》和元代的《外科精义》，强调外科以内科为本，主张内外兼治，则是对从整体观念出发的治疗思想的进一步发展。

在本草学方面，撰成于公元 659 年的唐代《新修本草》，是中国历史上的第一部国家药典，也是世界上由国家颁行的最早药典。它由唐朝廷组织 20 余位医学家和学者集体编修。在编修过程中又“普颁天下，营求药物”，征集全国各地所产的药物，并令绘出实物图谱，以供编修之用。全书 54 卷，分药图、药经和本草三部分，收载药物 844 种，其中考正过去本草经籍所载有差错者 400 余种，新增药物百余种。书中详细记述了药物性味、产地、功效及主治的疾病。宋代朝廷继承了这一创举，先后编修了《开宝本草》、《嘉祐本草》。随之又下诏，命令各地州郡绘制所出产的药草图，送京师开封，由苏颂整理、编纂成《图经本草》。而



《证类本草》虽为唐慎微所著，但宋朝廷三次组织修订，先后颁行《大观经史证类备用本草》、《重修政和经史证类备用本草》和《绍兴校定经史证类备急本草》，成为私著官修药典，并在《本草纲目》刊行之前成为本草学的范本。《本草衍义》则是这时期较有影响的私著本草著作，它与《证类本草》有着补充发明之功。

由于朝廷的重视，这一时期的医疗机构已相当完善，医学教育也相当健全，为当时世界所仅有。其中值得特别提出的是，宋医官王惟一著《铜人腧（shù）穴针灸图经》，并创制针灸铜人模型两具，在针灸学的教学和医师考核中发挥了很大的作用。

### 金元四大医家

“儒之门户分于宋，医之门户分于金元”，这是《四库全书总目提要》中对儒学和医学发展史的总结性论断。确实，在金元时期出现了四大医学家，他们都精通医学典籍，但在理解和运用上，却各有独到的创见，自成一家，因而形成了不同的医学流派，分别以自己的学术思想、医疗实践和医学理论影响后世。这四大医学家是刘完素、张从正、李杲、朱震亨。

刘完素，字守真，自号通玄处士，生卒年不详，因长年居住河间（今河北河间县），故人称“河间先生”、“刘河间”，他开创的医学学派也被称为“河间学派”。他拒绝金朝廷的招聘，不愿做官，一生在民间行医。



刘完素之为学，“研精覃思，期于必通”。他对《黄帝内经》极为重视，作为“终身诵读”的经典，从25岁到60岁，从未中断攻读和研究。《内经》的五运六气学说的基本内容，是从四季气候的变化来解释和论述疾病发生和滋长的机理。刘完素对此加以阐发，认为自然界的变化对人体生理活动和病理现象有极其密切的关系，要通晓医学就必须通晓五运六气学说，“不知运气而求医无失者鲜矣”（《素问玄机原病式·自序》）。针对当时热性病流行的现象，他从《内经·素问》病机19条大都是火热致病出发，运用五运六气理论，创立了火热病机学说。在临床中，他提出以降心火、益肾水为主的治疗方法。因他擅长使用寒凉药，所以又被称为“寒凉派”。著有《素问要旨论》、《素问玄机原病式》、《素问病机气宜保命集》、《伤寒直格》、《伤寒标本心法类萃》、《宣明论方》、《三消论》等。

张从正，字子和，号戴人，睢州考城（今河南兰考县）人，生卒年不详。他师从刘完素，继承刘完素的学术思想，又有所发扬，是河间学派一位重要医家。

在治学中，张从正着力研究《内经》、《难经》、《伤寒杂病论》等医学典籍，有很深的造诣。他认为，人之所以会生病，不论是体外的原因，还是体内的原因，都是由邪气所引起的。邪去则身安，因此在治疗时他主张用汗、吐、下三法攻邪祛邪。即，凡风寒初感邪者应用汗法，风痰宿食在于胸膈上脘（wǎn）者用吐法，寒湿痼（gù）冷或热在下焦者用下法。由于他对此之法的临床应用有精到之处，

故有“攻下派”之称。其代表作为《儒门事亲》15卷。

李杲（1180～1251），字明之，晚年自号东垣（yuán）老人，人称之为李东垣，真定（今河北正定）人。他师从张元素。张元素字洁古，易州（今河北易县）人，为刘完素同时或稍后的医学家。张元素重视脏腑的虚实，主张根据气候和人的体质的具体情况而灵活用药，在药物和处方方面造诣很深，并自成一家。因易州有易水，故其所创学派被称为“易水学派”，李杲即为该派的重要医家。

李杲在张元素的医学思想基础上又加以发扬，提出了“内伤脾胃，百病由生”的医学思想。他认为元气和脾胃有着极其密切的关系，脾胃是元气之本，元气是健康之本，元气“非胃气不能滋之”，“脾胃之气既伤，而元气亦不能充，而诸病之所由生也”（《脾胃论·脾胃虚实传变论》）。在临床治疗中，他采取了一套以升举中气为主的方法，分别补益三焦元气，又以补益脾胃为主。由于他善于运用温补脾胃的处方和药物，故被称为“温补派”，又按中医五行说，脾属土，又被称为“补土派”。其医著有《脾胃论》、《内外伤辨惑论》、《兰室秘藏》等。

朱震亨（1282～1358），字彦修，婺州义乌（今浙江义乌）人，家居义乌丹溪，被尊称为“丹溪翁”，世称朱丹溪。年轻时，他在乡习儒，亦曾学习程朱理学。后来他认为作为一名儒士，如果精通医学，可以更直接造福于社会，从而放弃科举，以医为业。

朱震亨师从杭州名医罗知悌（dì）学医。罗氏为刘完素

的再传弟子，又旁通张从正、李杲二家学说，亦因此朱震亨对三家学说均有深入研究。他还运用理学中的太极之理，贯穿《内经》旨义，并形成了自己的医学特色和理论。其医学理论最突出的是“阳有余阴不足论”和“相火论”。他认为人之始生和成长，都和天地之气有关，“人受天地之气以生，天之阳气为气，地之阴气为血，故气常有余，血常不足”。他又认为，人体内经常处在“阳动”的状态中，精血阴气最容易损耗，而“相火”是阳，人的生命活力来源于“相火”的运动。“相火”有常有变，常是生理，变是病理。“相火”容易被外界所激而“妄动”，导致阴精受损，引起疾病。为此，他告诫人们要节制食、色，保养“阴分”（《格致余论》），人们亦因此把他的学说叫做“养阴说”。在临床中，他主张“滋阴降火”，擅长使用此类药物方剂，故又有“滋阴派”、“养阴派”之称谓。他一生著作甚多，《格致余论》、《局方发挥》为其代表作。

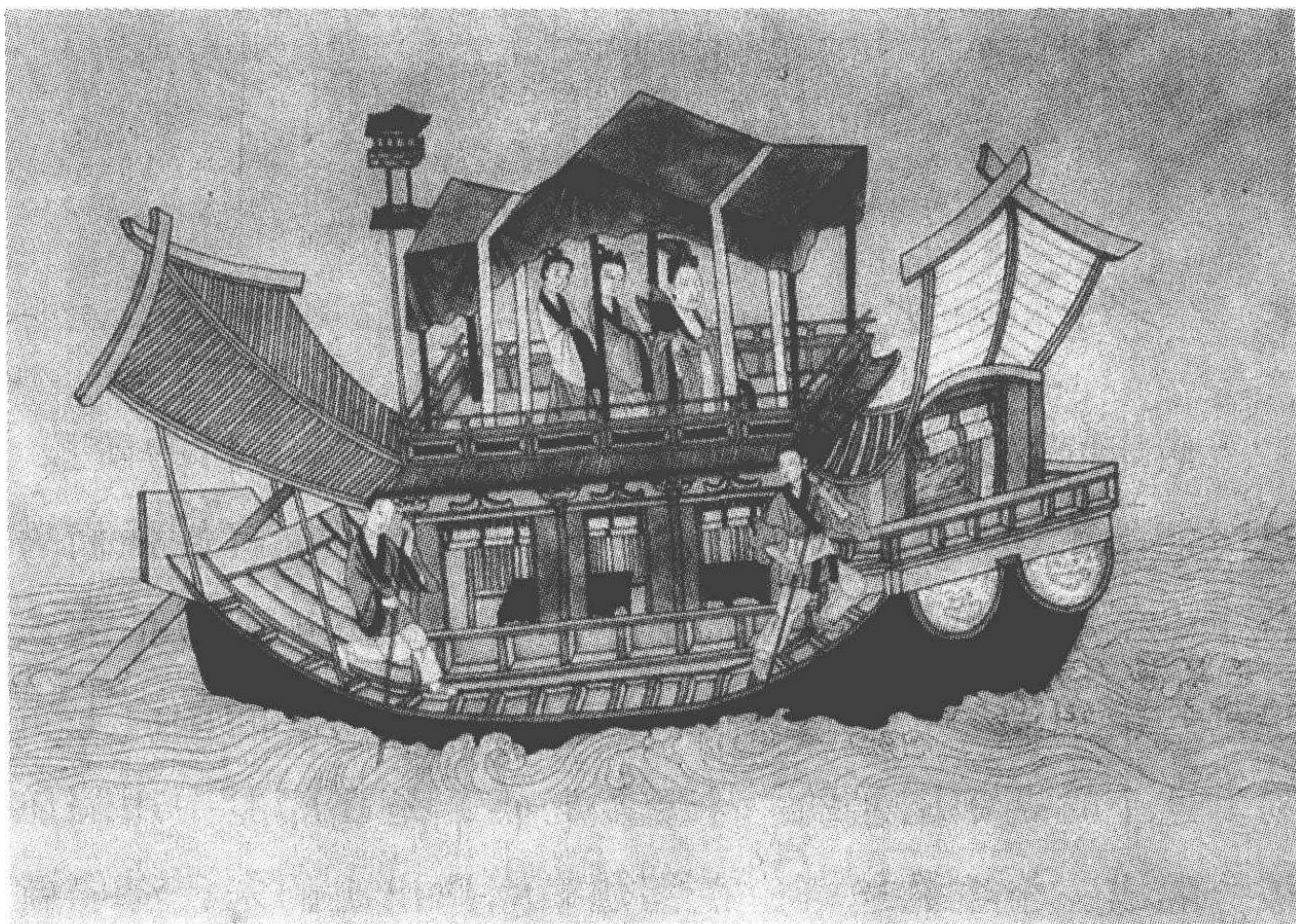
### 造船技术的成就

历史上，中国的造船技术取得过一系列重大的成就，曾经在一个很长的历史时期内居于世界领先的地位，并对近现代的造船技术产生了深刻的影响。

在商代，我国已经开始制造木板船。但是初期的船很小，为了增加载重量，扩大甲板以上的上层建筑，于是发明了并船为舫，即把两只或两只以上的船体并连在一起。用两只船构成的舫，在秦汉时代是重要的水上交通运输工



具，直至南北朝时还是常用的船只，它可视为现代双体客货船的远祖。舫在必要时还可分解成单体船，以适应于狭窄河道或提高行驶速度。



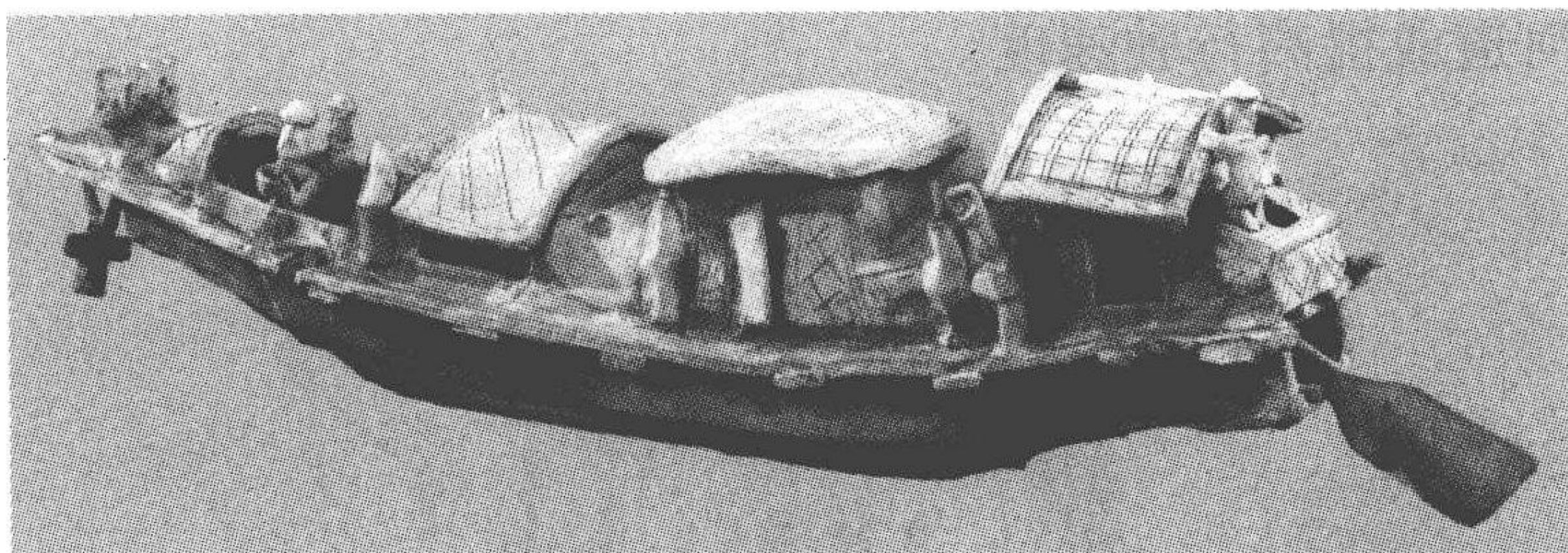
双体舫船（复原图）

橹是我国的一项独特发明。传说鲁班看到鱼儿在水中摇动尾巴前进，因而削木为橹，反映了这项发明可能是受到鱼儿摇尾的启示而创造的。摇橹可连续划水，故提高了功效，而划桨是间断性的，离开水面时做的是无用功。而且橹巧妙地利用杠杆原理，摇动省力，连妇女和儿童都能操纵。在古代世界中，橹可算是最先进的推进工具。18 世纪末，欧洲就是在橹的启迪下，开始研制螺旋推进器的。

舵是中国古代在造船技术方面的又一项重大发明。它出现于汉代，唐宋时期有了重大的改进，出现了垂直舵和



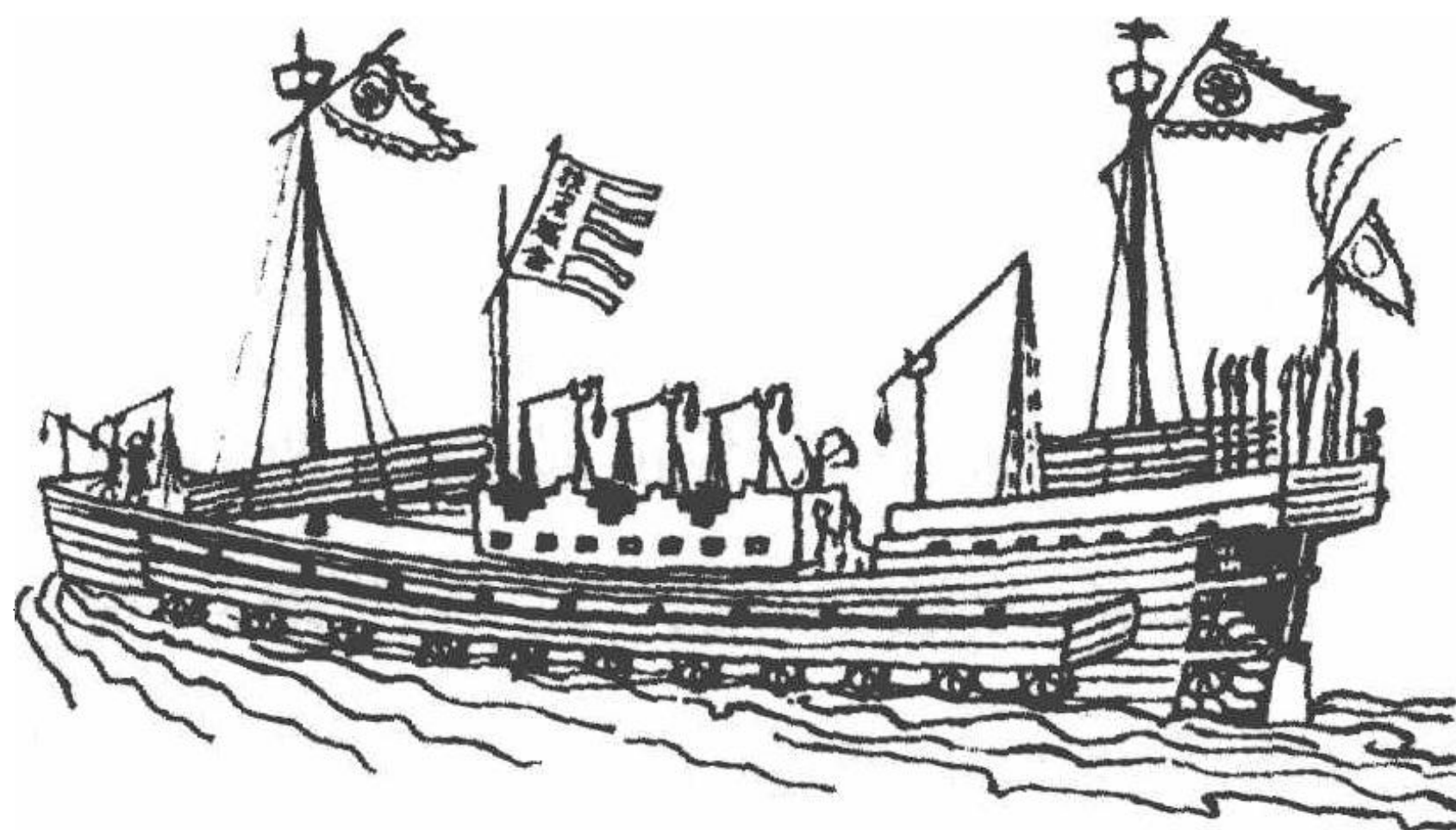
平衡舵。平衡舵在欧洲直到 18 世纪末、19 世纪初才开始采用，至今仍是船舶设计中降低转舵力矩的一个重要措施。



东汉陶船模

唐宋时期，中国的造船技术更进入了一个新的阶段。这时期的中国船舶以结构坚固、稳定性高、抗沉性强而著称于世。不但中国商人出海乘的是中国船，连阿拉伯商人都都乘坐中国船，进行中国、印度、阿拉伯之间的海上贸易。这个时期中国船的一个重要特点，是在船舱中用隔舱板分隔成一个个的舱区，在福建泉州湾出土的宋代海船就有 13 个舱区。这一结构，不但便于货物的装卸和管理，而且由于船舱被分隔开，一两个船舱破损进水，并不太影响船体的整体浮力，大大提高了抗沉性和安全性。同时，由于隔舱板与船壳板紧密钉合，增加了船体的横向强度，起到了加固船体的作用。18 世纪末，欧洲引进了中国的这一造船设计工艺。至今，各国的船舶制造都采用着这种结构。

车船是唐宋时期的另一重要发明，是现代轮船的始祖。它最初出现于唐代，是由李皋设计制造的。它有两个轮桨，每侧一个，用脚踩踏，带动轮桨转动，使船行驶，速度很快，史书称其“翔风鼓浪，疾若挂帆席”（《旧唐书·李皋



宋·高宣车船

传》)。宋代车船得到很大的发展，轮桨增多，有四轮、六轮、八轮、20 轮以至 32 轮之多。1161 年宋金“采石矶之战”中，宋军就是使用车船战胜金兵的。当时车船在长江上回转如飞，令金兵惊骇不已。

### 奇巧固护的赵州桥

我们的祖先很早就发明了建桥技术，历史上的桥梁主要有两大类，一是拱桥，二是梁桥。

桥洞呈半圆形或圆弧形的桥梁，叫拱桥。拱桥至迟在汉代就已经出现，汉代的画像砖上就刻有一些拱桥的图形。

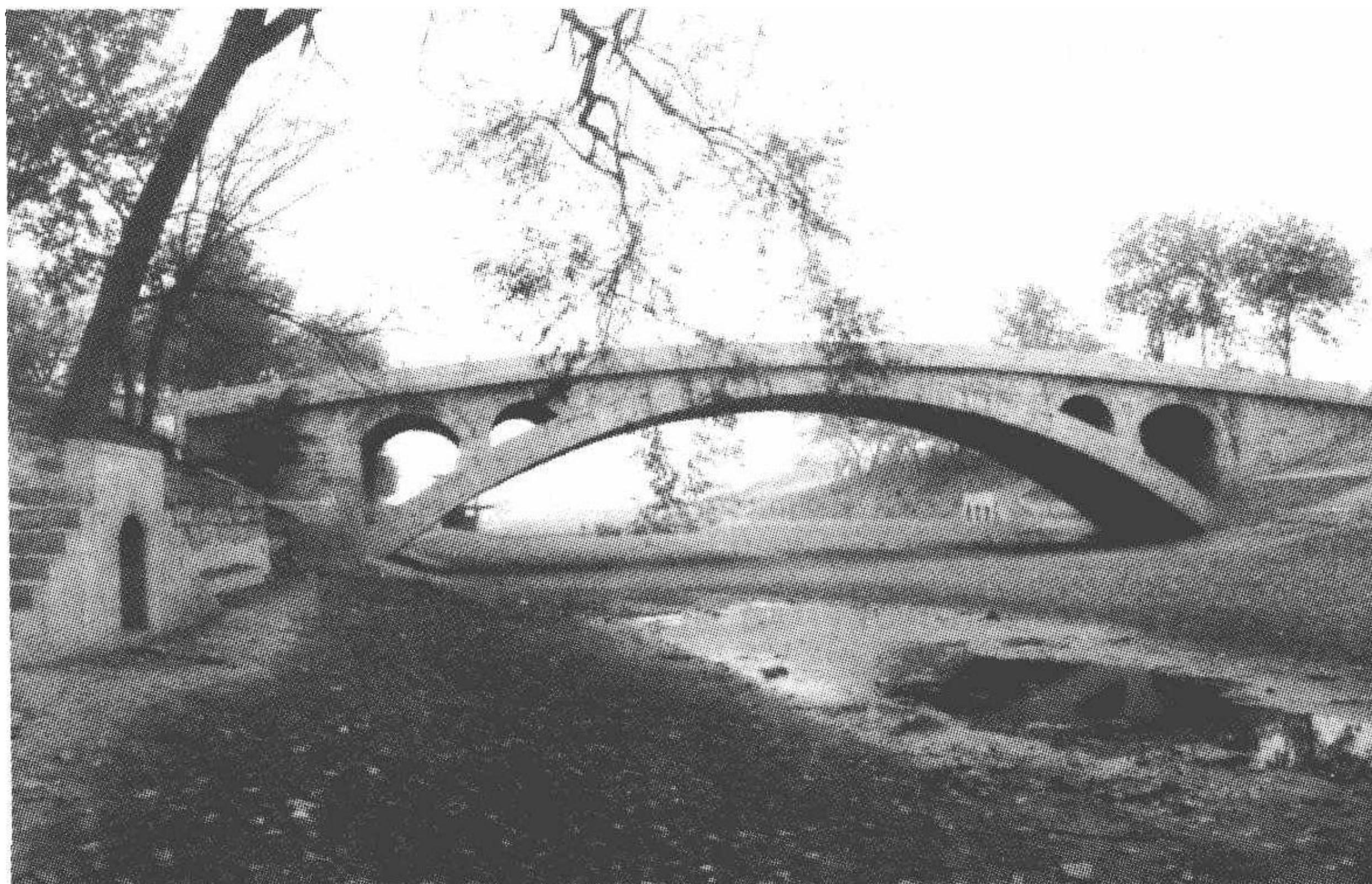
赵州桥本名安济桥，赵州桥是它的俗称。赵州桥于隋文帝开皇十五年（595）开始兴建，隋炀帝大业元年（605）建成。它横跨赵州（今河北赵县）城南的洺（xiáo）河上，全长 50.82 米，拱券净跨 37.37 米，桥面宽 9 米，是一座单孔坦拱式拱桥，也是我国现存最古老的大型石拱桥。它是由著名工匠李春设计和主持建造的。李春在拱桥建造工艺



方面，进行了两项重大的革新。

第一项是首创坦拱式拱桥。以前的拱桥，都建在河道狭窄的地方，采用半圆形拱形式。洺河两岸地势坦平，水面又较宽，如采用半圆拱，桥面最高处要高出地面一二十米，形成陡坡，车辆无法通行，人马行走也很困难。李春把半圆拱改为圆弧拱，拱圈矢高只有 7.23 米，与拱跨度比约为 1:5，成为坦拱桥，方便了人马车辆的通行。

第二项是首创敞肩拱。以前拱桥的两肩都是实肩，李春在桥肩处各建两个小拱，使成敞肩拱结构。这是世界上最早的敞肩拱桥形。敞肩拱结构可减少主拱桥承重变形，提高桥梁的承载力和稳定性，同时又节省材料，减轻桥身的重量及其对桥基的压力，汛期还可起分泄洪水的作用。



赵州桥

为了增加桥梁的稳固性，在桥台和桥脚的联接处、主桥上、拱石间以及拱背上，都用铁件联结加固，拱石间又

灌注了生铁（这种工艺叫“冶金固隙”），使全桥构成一个整体。

赵州桥结构合理，外型秀丽，有着“奇巧固护，甲于天下”（隆庆《赵州志·安济桥》）之美称。它建成之后，成为北通涿郡（今北京西南），南通东都洛阳的交通要冲。“坦平箭直千人过，驿使驰驱万国通”（隆庆《赵州志》引宋·杜德源《安济桥诗》），正是其真切的写照。

### 万安济众的泉州洛阳桥

我国的梁桥历史比拱桥悠久，它发端于新石器时代，以后历代都有发展，建造了不少著名的桥梁。到了宋代，我国的梁桥建造进入了一个新的发展时期，建造了一批大型的石梁桥，并把建桥技术提高到一个新的水平。

最早建造的大型石梁桥是福建泉州洛阳桥。它始建于皇祐五年四月（1053年5月），嘉祐四年十二月（1059年1月）建成，是由蔡襄主持建造的。

洛阳桥建在泉州城东20里的洛阳江入海口处。这里水面开阔，“西有滚滚万壑流波之倾注，东有湏灏（hòng hào）澎湃潮汐之奔驰”（《泉州府志·洛阳桥》），水势险恶。在建桥之前，人们经此来往靠的是渡船，经常发生翻船事故。为了祈求过渡平安，便取名万安渡，故桥建成后亦命名万安桥，洛阳桥则是其俗称。洛阳桥在建桥技术工艺上有如下几方面的创新。

①首创筏形基础。由于水势险恶，桥基无法采用传统



的打桩工艺，因而另辟蹊径，创造了新的奠基工艺。即利用落潮的时间，沿预定桥梁线路及其周围，用船装载大石块抛入水底，形成一水底石堤作为桥基。据考察，洛阳桥的桥基长 500 余米，宽约 25 米。这是桥梁技术史上的一项重大创新，开创了现代桥梁建造中筏形基础的先声。

②应用和发展尖劈形桥墩。尖劈形桥墩出现于唐代，筑于迎着水流方向的一端。洛阳桥则把桥墩两端都筑成尖劈形，以分开江流和潮汐的冲击力，达到保护桥墩的目的。

③利用潮汐的涨落浮运和架设石梁。洛阳桥面的大石梁重达数十吨，要把这样重的大石梁在水面上悬空架设，这在古代没有大型起重设备的条件下，似乎是难以想象的。洛阳桥却巧妙地解决了这一难题。利用潮汐的水面落差，在涨潮时用船把石梁载至两个桥墩之间，并固定在要安放的位置上方，落潮时石梁便自动架设在预定位置上，顺利完成了桥面的架设作业。

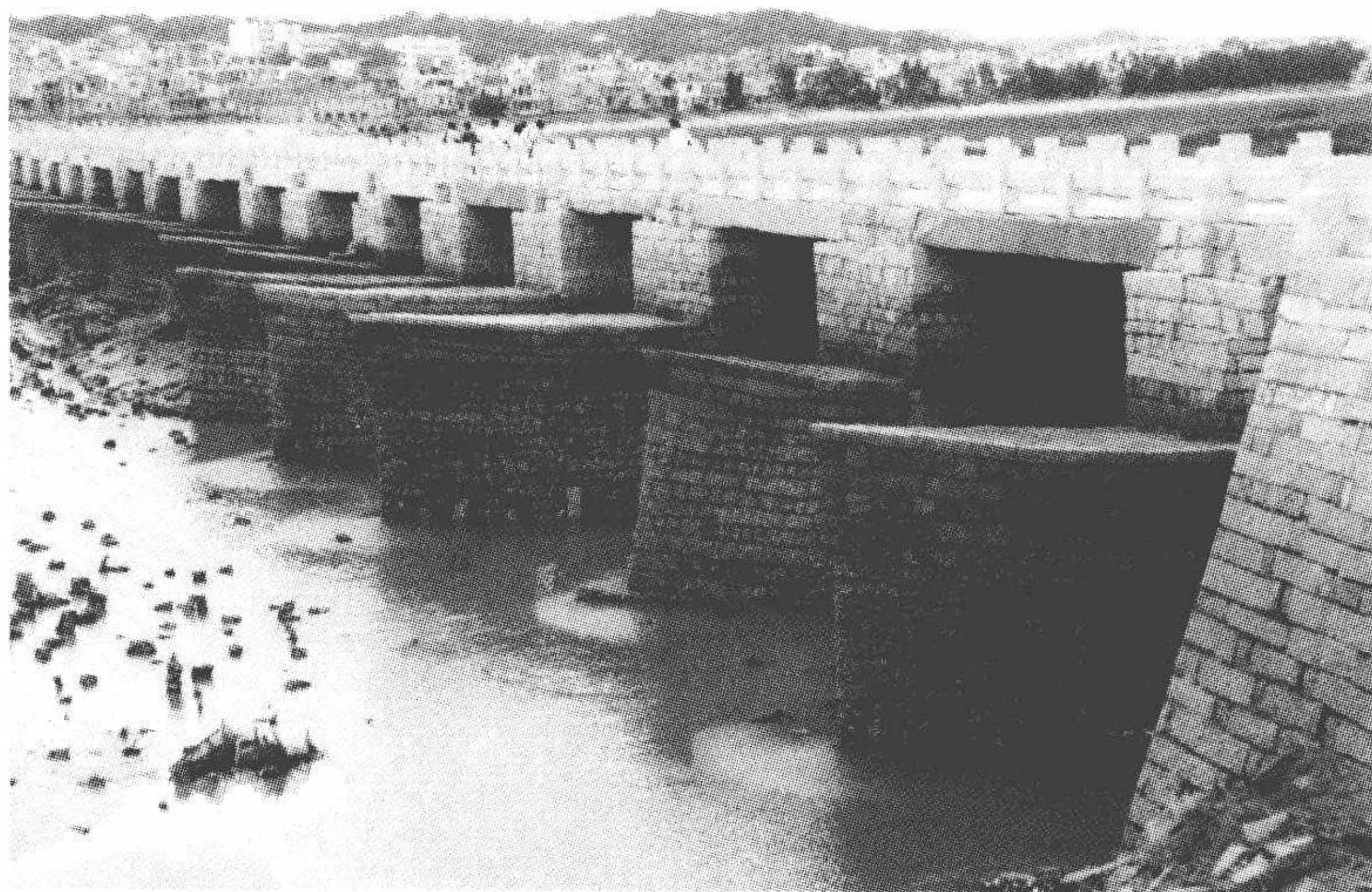
④利用牡蛎胶固桥墩。要把桥墩上的石块连结在一起，这在没有速凝水泥的古代几乎是没办法办到的。但洛阳桥在建造时却巧妙地利用牡蛎的生长特性，奇迹般地解决了这一难题。牡蛎又名蚝，俗称海蛎子，是一种介壳海生动物。它附着于其他物体而生长和繁殖，石灰质外壳亦随着生长和繁殖而连绵成片，与附着物牢固地胶结成一体。洛阳桥建造时，就利用这一特性，在桥墩上养殖牡蛎，把桥墩上的石块胶结在一起，形成牢固的整体，防止被冲散，提高了桥墩的坚固性和耐久性。这一发明，堪称是一项杰



出的科学创造。

洛阳桥长 834 米，桥墩 46 个，整座桥全部用当地产的花岗石建成。“飞梁遥跨海西东”，气势磅礴，雄伟壮观。它建成后，成为泉州与内地的交通要道。自此，人们去舟而徒，易危为安，故有“万安济众”之誉。

在洛阳桥建成的影响下，福建，特别是闽南地区掀起了一个建桥的热潮，先后建造数十座大中型石梁桥。其中，有号称“天下无桥长此桥”的安平桥，俗称五里桥，在晋江县安海镇，长达 2 000 多米，是古代最长的石梁桥。



泉州洛阳桥



## 第五章

# 中国传统科学技术的衰落

(明清时期, 1368 ~ 1911)



中国历史上，一直是讲求尊崇经典、法先王的。因此到了明清时期，传统的积习已浓重地笼罩着中国大地。中国的政治、经济、思想、文化以至科学技术，都被困囚于传统的窠臼之中，呈现着凝固、停滞的状态。特别是明、清政府都采取了锁国政策，关闭了对外交流的大门，以致对外部世界的变革、进步无所了解，或所知甚微。中国的社会走着下坡路，中国的传统科学技术除取得一些个别的成就外，也日渐衰落，没有什么进步，或进展极为缓慢，而天文、数学等原先高度发达的学科，更是向后退步。

而同时期的欧洲，却经历了文艺复兴和资产阶级革命，科学技术冲破了中世纪的牢笼，走上了飞跃发展的道路。中国的科学技术从此落后于世界的潮流，并被世界潮流越抛越远。明末清初，传教士来华，传入了一些近代科学技术，才在中国引起了一些波澜，但影响不大。及至鸦片战争打开了中国的大门，才使中国发生震动，走上了向西方学习科学技术的道路。中国的传统科学技术，除中医学外，逐渐为近现代科学技术所淹没和取代。

### **盛况空前的远航壮举**

郑和（1371 ~ 1435）七下西洋的远航壮举，今天已为大家所熟悉，并为举世所称颂。的确，如此巨大规模的远

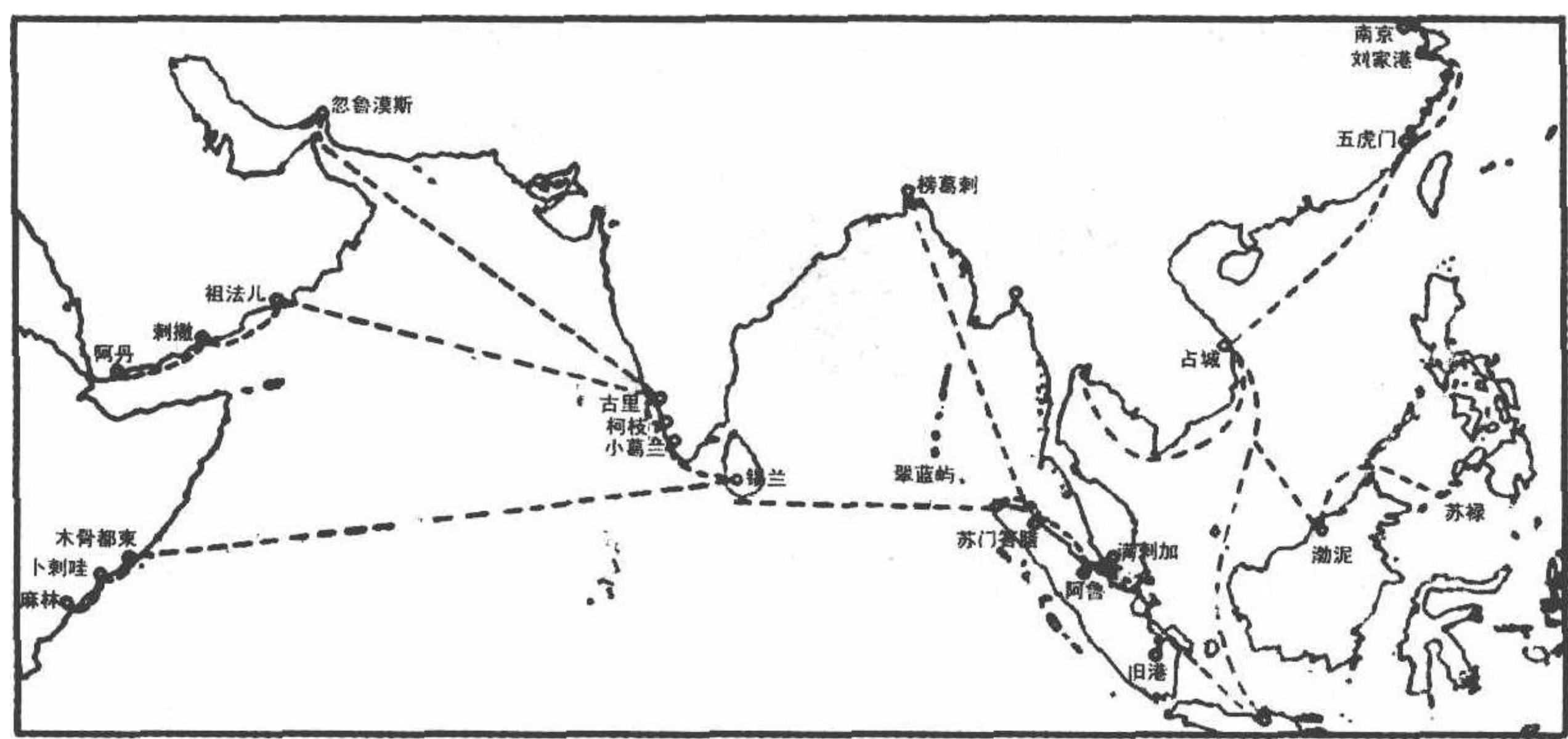
洋航行，是世界史上极其重大的事件。郑和率领27 000多人，驾驶约100多艘船只组成的庞大船队，于公元1405至1431年先后七次远航，到达东南亚、南亚、西南亚，以及非洲东海岸数十个国家，这在中国乃至世界史上都是空前的。1492年，哥伦布横跨大西洋，发现美洲新大陆的航行，只有三艘长约19米的小船，人数只有88人。1497年，达·伽马沿着非洲南岸，绕过好望角到达印度的航行，只有四艘船和148人（一说170人）。他们与郑和的航行规模是无法比拟的。

可以说，郑和的航行代表着当时世界造船和航海技术的最高水平。

郑和“总率巨舩（cōng）百艘”（明·黄省曾：《西洋朝贡典录》），其船队以“宝船”为主体。据史书记载，“宝船”长44丈，宽18丈。如此巨大的船只，在中国和世界历史上都是首屈一指的。

在远航中，除用指南针导航外，还用牵星板测量星辰的高度，进行导航，叫“过洋牵星术”。牵星板可能是阿拉伯人发明的，郑和船队吸取了阿拉伯航海者的经验，并结合中国固有的航海天文学，在远航中加以发展。利用指南针可确定经度，利用过洋牵星术可确定纬度，从而确定船舶在海中的位置，这把导航技术推进到一个新的水平。而且，在航行中，还记录下了详细的航线记录，并绘制了航海图。现存的《郑和航海图》和《瀛涯胜览》、《星槎（chá）胜览》等，就是当时的产物，也是我国最早的航海图和航线

记录。



郑和远航路线示意图

中国人何时横渡印度洋，现尚有争议。而郑和船队第五次远航时，曾横渡印度洋，却有确切的记载。因此，说郑和船队首创我国横渡印度洋的航行，也不为过。

遗憾的是，中国航海史上的郑和下西洋，既是空前的，却也绝后了。在郑和死后不久，明朝的统治集团就改变了航海政策，远航被中止，巨型船舶也不让再造，甚至连郑和的航行档案也被一把火化为灰烬。其后的海禁更使中国的造船和航海事业一落千丈。而欧洲却在哥伦布、达·伽马远航的鼓舞和刺激下，进入了一个大航海时代，造船和航海事业蓬勃发展。一退一进，中国便被抛到后面了。

算盘和珠算

算盘是我国古代发明的计算工具，珠算是关于如何用算盘计算的方法。即使是今天电子计算机已相当发达了，仍无法完全代替算盘的功效和作用。用算盘进行加减，就



要比计算机快得多。所以，直至今天算盘还有其生命力。日本就有专门的珠算研究组织，而且非常活跃。

算盘什么时候发明的？现在还没有定论。元末明初的文学家陶宗仪在其所著的《南村辍耕录》里说，有一类佣人，初来的时候叫“搯盘珠”，不拨自动。过了一段时间叫“算盘珠”，拨之则动。等时间一久就叫“佛顶珠”，整天都凝然不动，就是拨了也不动。有人认为这拨之则动的“算盘珠”，指的就是珠算盘，从南宋刘胜年所绘《茗园赌市图》中的算盘和元王振鹏所绘《乾坤一担图》中的算盘，说明至迟在南宋，算盘已经问世。

到了明中叶以后，算盘已相当普及，并出现了大量关于珠算的著作。其中，最著名的是成书于公元 1592 年的《直指算法统宗》，这是明清时期影响较大的数学著作。

《直指算法统宗》的作者叫程大位，字汝思，号宾渠，安徽休宁人。他本是商人，但对数学有浓厚的兴趣，经几十年的努力和积累，在 60 岁时写成这一著作。全书 17 卷，仿《九章算术》分成九章，收有 595 个问题。书中详细地记述了珠算定位方法，珠算加减乘除四则运算方法，以及各种珠算口诀，这些口诀大都沿用至今。

算盘和珠算对于实用数学的普及具有相当重要的作用，是古代世界中先进的计算工具和计算方法。

## 十二平均律

音律学是研究发声体发音高低比率的规律、法则的一

门科学，是音乐中的基础科学。我国历代对音律学都非常重视，早在西周时期，就有“十二律”和“五声音阶”、“七声音阶”。要发不同频率的音，就必须调整乐器的管或弦的长短。我国古代定音一般是用弦。在春秋战国时期，开始应用“三分损益法”来定弦的长度。所谓三分损益法，是以一条被定做基音的弦的长度为准，把它三等分，然后依次加上一分（益一，即乘以 $\frac{4}{3}$ ）或减去一分（损一，即乘以 $\frac{2}{3}$ ），以定出其他各律相应的弦长。这样一个律一个律地定出来，直到得出此基音恰好高一倍或低一半的音为止。但用三分损益法所得的结果，得出的音与基音不能正好是倍数关系，而是有一定的误差。同时，各相邻二律的频率比也不完全相等。这些缺陷，直至明代才由朱载堉解决。

朱载堉（yù）（1536 ~ 1610），字伯勤，号句曲山人，是明仁宗庶子郑靖王的后代。他虽身为王室世子，却数十年如一日，专注于天文学、数学和音律学的研究，都有所成就，而贡献最大的是创立了“十二平均律”，即采用等比级数来确定各律的弦长。经过严密的数学计算，朱载堉取各律的公比为 $\sqrt[12]{2}$ ，也就是设基音弦长为1，以下各律的弦长依次为 $2^{-\frac{1}{12}}$ 、 $2^{-\frac{2}{12}}$ 、…… $2^{-\frac{11}{12}}$ 。这一理论，比欧洲音乐理论家梅尔生的同样发明早半个世纪。

### “火龙出水”和“飞空砂筒”

具有强大威力的现代运载火箭，人们可从电视上或报

刊上经常看到，已经不会感到陌生了。这种火箭不同于我们前面所讲到过的用弓箭发射的火箭，而是具有自身发射的性能，即通过内部火药点燃后喷出的火焰和气体的反作用力，而发射升空。现在世界上已经公认，现代火箭的发祥地是在中国。

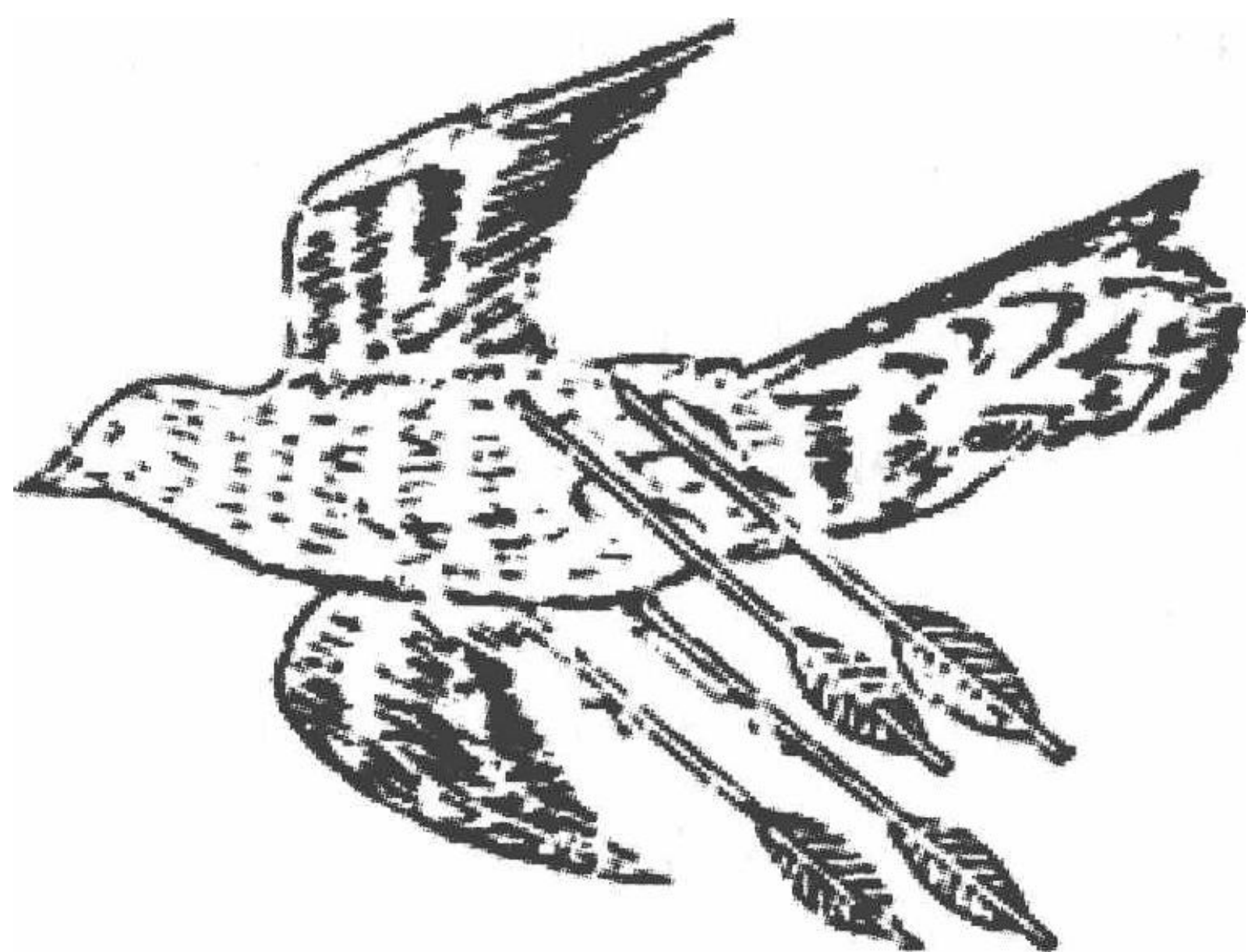
火箭的前身是烟火，大约发明于12世纪时的南宋时代，被用于娱乐和庆典。后又发明了单级火箭用于战争，在宋金、宋元战争中，以及蒙古兵西征中，都使用了这种火箭武器。

火箭武器在明代有重大的发展，出现了不少类型的单级火箭武器，并发明了二级火箭武器。

例如，“神火飞鸦”是当时常用的一种单级火箭武器。它以竹条编成篓，如斤余鸡大小，外面用绵纸和线封固，内部装满火药，两旁装纸制翅膀，前后分装鸟头和鸟尾，像飞鸦一般。在头、尾下部各装两支大型火箭，鸦背钻一孔，放入四根药线，由一总线相连，并将火箭和鸦身内的火药药线相连。点燃火箭的总药线后，“飞鸦”即腾空飞起，至百余尺远将坠地时，药线又引燃鸦身内火药，顿时发出霹霹巨响，“火光遍野，对敌用之，在陆烧营，在水烧船，战无不胜矣”（明《武备志》卷一三一）。这可以看成是现代地基导弹的前身。

“火龙出水”则是一种二级火箭，可用于水战。龙身龙尾用竹雕成，龙头用木雕成。龙腹里放置火箭数枚，由一总药线相连。龙头龙尾下各安装含重1.5斤发射药的火箭筒





神火飞鸢

二枚，火门向下，也用总药线相连。再将龙腹里火箭的总药线与火箭筒的药线相连。当点燃火箭筒的总药线后，火龙便在火箭筒的推动下飞向敌方。第一级火箭（火箭筒）发射药燃尽后，又引燃龙腹内的火箭（第二级），火箭便从龙口射出。“火龙出水”可飞二三里远，“如火龙出于江面”，“人船俱焚，水陆并用”（明《武备志》卷一三三）。这种武器开了现代多级火箭的先声。

“飞空砂筒”也是一种二级火箭，它是由两个内盛发射药的火箭筒构成。两个火箭筒喷火口方向正好相反。一个火箭筒喷火口向下，药线与一爆仗相连，爆仗内含炸药和毒砂，再将爆仗与另一个喷火口向上的火箭筒相连。当点燃喷火口向下的火箭筒后，整个装置就会飞向敌方，并点燃爆仗，在爆炸声中喷出毒砂，伤敌眼睛。爆仗爆炸时又引燃另一火箭筒，使装置飞回，“敌人莫识”（明《武备志》卷一二九）。这可称得上是世界上最早的回收火箭。

## 李时珍与《本草纲目》

李时珍（1518 ~ 1593）字东璧，晚年号濒湖山人，湖北省蕲（qí）州（今属蕲春县）人。他出生于医学世家，又自幼体弱多病，因此从小就立志学医。13岁时顺应父亲的心愿参加科举考试，中了秀才，但在以后多次应试未能中举后，他便放弃了科举道路，专心于医药学的研究，很快便以医术高超而闻名于世。明嘉靖三十五年（1556），他应召到北京太医院任职，一年后辞归。又曾到当时的楚王府任过医官。这两处的经历，使他有机会接触和阅读大量的医药学典籍，收集丰富的资料。辞官之后，他返归故里，在雨湖北岸构筑新居，题名“红花园”。自此，他一面行医，一面著述。

李时珍的医学造诣很深，是一位出色的医学家。从基础理论到临床医学，他都在前人的基础上有所发展。

在脉学方面，李时珍继承正统的脉学，博采历代各家之长，对经义大加发挥，并著《濒湖脉学》、《脉诀考证》。

在经络学说方面，李时珍重新厘定了奇经八脉的循行途径，揭示了这八条经脉病机辨证的基本情况及规律，著《奇经八脉考》，使其成为中医学理论体系的组成部分。

在脏腑学说方面，李时珍对三焦、命门提出了自己的见解，认为三焦是人体元气的别使，而命门是三焦的本原，一个是物质之实体，一个是无形之功用。著有《命门考》、《命门三焦客难》（后佚）。同时，他还提出了“脑为元神之

府”，在中国首次认识到人脑主宰精神。

在临证医学上，李时珍有不少发明，著有《濒湖医案》、《濒湖集简方》等方书医案。

李时珍又是一位杰出的药物学家，并以不朽名著《本草纲目》而举世闻名。

在临证实践中，李时珍发现以往的本草著作中存在着许多错误和混乱，于是决心重新编纂一部全面系统的本草著作。自1552年至1578年，前后花了26年的时间，三易其稿，终于完成了药物学巨著《本草纲目》的编纂工作。

《本草纲目》全书计52卷，收有药物1892种，方剂110960个，计有文字190多万字，附有药物形态图1160幅。在编纂过程中，李时珍系统地总结了前人的药物学成就，参考了800余种文献资料。同时，他还亲身进行调查、考察、研究，在所收入的药物中，有347种是他通过自己的搜集增补的。书中更订正了许多前人记述的错讹。可以说，《本草纲目》倾注了李时珍毕生的心血。它集中国传统医药之大成，是中国传统医药学的总结性著作。

在分类学上，《本草纲目》突破了传统本草学的分类方法，开始了一个新的纲目分类体系。全书分为16部，60类，以部为纲，以类为目。其中，植物药分草、谷、菜、果、木五部，草部下分山草、芳草、隰（xí）草、毒草、蔓草、水草、石草、苔、杂草等类；谷部下分麻麦稻、稷粟、菽豆、造酿等类；菜部下分荤辛、柔滑、蔬（lǔ）菜、水菜、芝栢（ěr）等类；果部下分五果、山果、夷果、味果、



蔬、水果等类；木部下分香木、乔木、灌木、寓木、苞木、杂木等类。动物药分虫、鳞、介、禽、兽五部，虫部下分卵生、化生、湿生类；鳞部下分龙、蛇、鱼、无鳞鱼类；介部下分龟鳖、蚌蛤类；禽部下分水禽、原禽、山禽类；兽部下分畜、兽、鼠、寓怪类，还有人部。矿物药分水、火、土、金、玉、石等部。纲目分明，有条不紊。这一系统的分类法，是当时世界上最先进的分类方法。

在编著中，李时珍还创立了统一的编写体例，每种药物的记述中，分为释名、集解、辨疑、正误、修治、气味、主治、发明、附方等项目。这一体例，为中国古代药物学著作中最完备的格式。

除药物学方面的内容外，《本草纲目》的记述中，还有不少关于化学、地质、天文学等方面的内容，有着重要的学术价值。

### **温病学说和种痘术**

明清时期的医药学成就，除李时珍和《本草纲目》外，突出的还有温病学说和种痘术。

温病学说是中国古代治疗传染性热性疾病的医学理论。明末的医学家吴又可为此学说的形成奠定了基础。

吴又可（1592～1672），名有性，姑苏洞庭（今江苏吴县）人。他在医疗实践中，亲眼看到当时一些医者照搬《伤寒论》的方法来治疗流行性温疫病，致使很多患者死于误治，感到十分痛心。为此，他提出了“墨守古法不合今

病”的革新思想，并对温疫病进行全面研究，在病原学、传染途径和方法、流行的特点、治疗原则等方面，提出了新的观点。他认为，“温疫之病，非风非寒，非暑非湿，乃天地间别有一种异气所感”。他称这种异气为“戾气”，进而又发展为“杂气”。“戾气”指发病急骤，病情笃重，症状相似，传染性强的致病因素；“杂气”指病源多种多样，并可导致多种不同的病症。他反对历来医家多推崇的《伤寒论》的主张，提出了应该重视“温病”的见解。其对温热病的治疗，强调以驱邪为主，重视攻下法。他的代表作是《温疫论》。

在吴又可的影响下，清代一批医家致力于温病的研究，形成了独立的温病学说。它和伤寒学说并行，被称为中医治疗外感的两大学说。

种痘术是中国医学对世界免疫学的一项重大贡献。痘疹就是天花，是一种可怕的恶性传染病，历来没有有效的防治方法。到了明代，中国发明了人痘接种法，终于为预防天花开辟了一条有效的途径。

种痘术发明于什么时候，现在还没有定论，但至迟在明隆庆年间（1567～1572）已经出现。清俞茂鲲《痘科金镜赋集》说：“闻种痘法起于明朝隆庆年间宁国府太平县……由此蔓延天下。”明末清初喻昌的《寓意草》（1643年刊行）中，已明确记有两例在北京种痘的病案。

关于种痘术，1695年刊行的《医通》中，记有痘浆、旱苗、痘衣等方法，并指出其推广过程是，“始自江右，达

于燕齐，近者遍行南北”。后来，经过不断实践，更改进为用经过接种多次的痘痂做疫苗，降低了疫苗的毒性，因而更加安全。

中国发明的人痘接种术，很快就传至国外。1688 年，俄国已派人至中国学痘医。不久，种痘术又从俄国传入土耳其。1717 年，英国驻土耳其大使夫人学得种痘术，随即传至英国、欧洲各地以及印度。及至 1796 年，英国的琴纳发明牛痘接种术后，才逐步取代人痘接种术。

### 徐光启和《农政全书》

徐光启（1562 ~ 1633）字子先，号玄扈，上海人。他自幼聪敏好学，少年时即“章句、帖括、声律、书法均臻佳妙”，并有宏大的志向。曾说过：“文宜得气之先，造理之极，方足炳辉千古。”但他仕途多蹇（jiǎn），万历九年（1581）20 岁时中秀才，万历二十五年（1597）36 岁时中举人，至万历三十二年（1604）43 岁时方中进士，开始步入仕途。

在科举失意期间，徐光启一面课馆教书以谋生，一面刻苦求学。不但涉猎古今，而且接触传教士，学习西学。万历三十一年（1603），他在南京接受洗礼，加入天主教。这期间，他的思想亦发生了变化，认识到当时流行的陆王心学无用于世，走上了经世致用的道路。邹漪《启祯野乘·徐文定传》中说，“（他）尝学声律，工楷隶，及是悉弃去，（专）习天文、兵法、屯、盐、水利诸策，旁及工艺



数学，务可施用于世者。”张溥在为《农政全书》所作的序中亦说：“公初筮（shì）仕入馆职，即身任天下，讲求治道，博极群书，要诸体用。诗赋书法，素所善也。既谓雕虫不足学，悉屏不为。专以神明治历律兵农，穷天人指趣。”于是，他成为一位杰出的科学家，在天文学、历法、数学、农学以及火炮制造、机械方面都有重要的贡献。

进入仕途后，徐光启历任翰林院庶吉士、翰林院检讨、詹事府少詹事兼河南道监察御史，崇祯元年（1628）他充日讲官，经筵讲官，为天子师，后升任礼部左侍郎、礼部尚书，并于崇祯五年（1632）以礼部尚书兼东阁大学士入阁，参与机要，成为明朝廷重臣。其后又加授太子少保、太子太保、文渊阁大学士。在公务之余，他一直坚持科学研究。《农政全书》的编纂，即是他的重大科学活动之一。

徐光启出身农家，自小对农事就非常关心。他的家乡地处东南沿海，水灾、风灾频繁，使他对救灾救荒非常关心，亦注意排灌水利的建设。后来，他又在北京、天津和上海等地设置试验田，亲自进行农业技术实验。因此，他对农事非常熟悉，也非常重视，一生关于农学方面的著述甚多，有《甘薯疏》、《农遗杂疏》、《农书草稿》（又名《北耕录》）、《种棉花法》等，并与传教士熊三拔合译《泰西水法》，而《农政全书》则是其农学方面的代表作。

《农政全书》是徐光启数十年心血的结晶，也是一部集中国传统农学之大成的总结性著作，大约完成于1525年至1528年间。他生前虽已编成，但未定稿。现传世的《农政

全书》是经后人增删后出版的，大约删去原著的30%，新增20%。全书分60卷，计50多万字，内容包括农本、田制、农事、水利、农业工具、作物和果树栽培、蚕桑、畜牧养殖、食品加工以及备荒措施等方面。书中引录了大量前人的著作，引书达200多种，并加了许多评



徐光启像

语，以便于参考使用。徐光启撰写的内容大约60 000多字，虽仅占全书篇幅的八分之一，但都是他亲自试验和观察所获得的可靠资料，有较强的科学性。

徐光启所处的时代是明朝末期，当时明政权已危机重重。作为重臣的徐光启力图维护明政权，并为此殚精竭虑，发展农业即是他的一项重要主张。因此，他把“农本”放在书首，把“富国必以本业”作为全书的指导思想。其中，“经史典故”引经据典阐明农业是立国之本，“诸家杂论”引述诸子百家的言论来论证农业的重要，并收冯应京《国朝重农考》，用明朝历代皇帝的农业政策和措施，告诫当朝皇帝和官吏重视农业生产和农业生产者。

同时，徐光启提出了用垦荒和开发水利的方法发展北方农业生产的主张。对东南（尤其是太湖）地区的水利、



淤淀和湖垦，以及在东南种植、推广棉花生产，他都非常重视。对于备荒和救荒等荒政，他提出“预弭为上，有备为中，赈济为下”的以预防为主的方针。

在农业技术方面，《农政全书》中有着很多贡献。徐光启在书中记述了作物与风土的关系，并强调通过人力，可以使过去认为不适宜种植的作物得到推广，破除了作物适宜某地种植与否决定于风土的“唯风土论”认识，发展了中国古代农学的风土论思想。对于提高南方旱作技术，推广甘薯种植，以及蝗灾的发生规律和治蝗方法，书中也都进行了介绍和总结。

### 徐霞客及《徐霞客游记》

在明朝末年，我国还出现了一位著名的地理学家徐霞客。他名弘祖，字振之，霞客是他的别号，生于 1587 年，卒于 1641 年，南直隶江阴（今江苏江阴）人。他自幼“特好奇书”，好游历，“平生只负云山梦”，立志“问奇于



徐霞客像

名山大川”。他从 22 岁起到 54 岁从云南抱病回家时止，30 年间几乎年年出游，先后游历了江苏、浙江、福建、安徽、山东、河北、北京、湖北、河南、山西、陕西、广东、江西、湖南、广西、贵州、云南等地，足迹遍及大半个中国。



《徐霞客游记》是他在旅途中用日记体裁写成的著作。这部游记饱含着他对奇山异水的深情，是他用翔实真确而又传神入化的笔触写成，以情真、景真、意真、事真著称于世，被誉为“世间真文字，大文字，奇文字”，为著名的文学著作和地理著作。

《徐霞客游记》的地理价值，突出地体现在它对岩溶地貌的记录和论述方面。



徐霞客旅游路线示意图

徐霞客所游历考察的地区，有不少是属于岩溶地貌地区，特别是湘西、广西、贵州、云南。他所到之处，都细致地观察这些地区的地貌特征，并详细地在游记中作了记述。据统计，他记述的地表岩溶地貌的内容达 22 项，大部

分是他首先观察和记述的，并对比了不同地区地貌的差异，有的还就其成因进行了探讨。其内容包括石芽、溶沟、裂隙、槽谷、盆地、嶂谷、天生桥、峰林、孤峰等等。同时，书中记述的洞穴达 357 个，其中石灰岩溶洞有 288 个，内容包括洞穴的结构和类型，洞穴堆积，地下河，地下湖，洞穴瀑布，地表水与地下水的关系，洞穴的气候、生物、音响，以及洞穴的成因。无论是就深度而言，还是就广度而言，这些记述都远远地超越了前人，有不少论述更是与近代科学的解释相一致。可以说，徐霞客是中国系统研究岩溶地貌的先驱，也是世界最早的岩溶学家和洞穴学家。西方直至 19 世纪 50 年代，才出现超过《徐霞客游记》的岩溶学著作。

### 宋应星和《天工开物》

宋应星（1587 ~ 约 1665）字长庚，江西奉新县人。他因编著《天工开物》而名扬后世。《天工开物》初刻于 1637 年，全书共 18 卷，内容包括作物栽培、养蚕、纺织、染色、粮食加工、熬盐、制糖、酿酒、烧瓷、冶铸、锤锻、舟车制造、石灰烧制、榨油、造纸、采矿、兵器、颜料、珠玉采集等，是一部中国农业和手工业各方面生产技术的总结性著作。

书之所以命名为“天工开物”，正体现了宋应星这样一种科学思想，它强调“天工”（自然力）与人工的配合，自然界的行为与人类活动的协调，人类通过技术从自然资源

中开发出产物，以为人类生存和生活之需要。也就是说，“天工”是与人类行为相对应的自然界行为，“开物”是根据人类生存利益，将自然界中所包含的种物由人工开发出来。书中所说：“草木之实，其中蕴藏膏液（油脂）而不能自流。假媒水火，凭借木石（木榨与石磨），而后倾注而出焉。此人巧聪明……”（《膏液》卷）正是这一思想的体现。在这一思想的指导下，全书贯穿了人工与自然界的调谐、统一，具有很高的科学性和学术性。

全书除文字叙述外，有插图 123 幅，展示了有关工农业生产的工艺过程。书中除个别章节引用前人著述外，绝大部分内容都是宋应星在南北各地进行实地调查的资料。在叙述生产过程及具体工艺技术的同时，宋应星还“穷究试验”，力图给予理论性的解释。

除了记述以往的传统科学技术外，书中还记述了不少当时先进的科技成果，并用技术数据给以定量的解说。例如：

《乃粒》卷中，提出秧田与本田之比为 1:25，又提出早稻食水三斗，晚稻食水五斗，失水即枯等，这些数据对水稻生产有着指导作用，为以往农书所未记述。同时，还论述了作物与环境的关系，外界环境变迁对作物物种变异的影响，指出通过人工选择可培育出抗旱的稻种。此外，还介绍了用砒霜作农药拌种防病虫害，以石灰中和酸性土壤等技术成就。

《粹精》卷中记述的水碓，以水力为能源，通过立式主



轴带动各机件，同时具有灌田、脱粒和磨面三种功能，为当时世界上先进的农业机械。

《乃服》卷中记述的关于利用人工杂交培育新蚕种，为当时的新发明，是生物学的重要成就。

《五金》卷中，关于生熟铁冶炼法的记述，是当时对传统冶炼方法的革新。该法把冶炼生铁和熟铁的设备串联在一起，使所炼得的生铁液直接流入炒铁炉，炼成熟铁。这种连续作业的冶炼方法，降低了成本和炒铁时间，提高了工效，为当时世界上最先进的熟铁冶炼工艺。而关于炉甘石提炼金属锌（“倭铅”）的记述，以及所附的“升炼倭铅图”，是中国乃至世界上最早的炼锌记录，表明中国是世界上最早提炼出金属锌的国家。



《天工开物》“生熟炼铁炉”图



正是由于《天工开物》内容极其丰富，故被视为是一部百科全书式的著作，英国李约瑟博士甚至因此称宋应星为“中国的狄德罗”。



《天工开物》中的“升炼倭铅”图

利玛窦与近代科学的传入

16 世纪，欧洲的科学革命开创了科学技术蓬勃发展的新局势，并引起了欧洲社会的重大变革，与沉闷的中国社

会和学风形成鲜明的反差。随着西方殖民主义者的东来，以及传教士的来华，近代科学技术亦开始冲击中国的传统文化和科学技术。

明嘉靖三十二年至三十六年（1553 ~ 1557），葡萄牙人入据澳门，澳门成为耶稣会在东方活动的重要据点。最早进入中国内地的传教士是利玛窦（Matteo Ricci, 1552 ~ 1610）。

利玛窦，字西泰，号清泰、西江、大西域山人、利山人、西泰子，意大利人，耶稣会会士，1582年到澳门，先后在肇庆、韶关、南昌、南京传教，1601年定居北京，直至去世。为了在中国立足，他学汉语，习华俗，着儒服，并按中国士子的习惯起中国名号。同时，他利用传播近代科学技术，在中国知识阶层扩大影响，成为在中国传播近代科学技术的第一人。著名的科学家瞿太素、徐光启、李之藻都曾向他学习，受到他很深的影响。

经由利玛窦介绍而传入中国的近代科学，主要有数学、天文学和地理学等几个方面。

瞿太素是向利玛窦学习近代科学的第一个中国学者，先后学习了同文算法，浑盖图说，欧几里得几何学。他或用中国古代算经的术语，或用自己新创的术语，把学到的数学知识译成汉文，在朋友中传阅。他翻译了《几何原本》第一册，但没有刊刻。后来，利玛窦和徐光启合作翻译了《几何原本》前六卷，于万历三十五年（1607）刊行，为最早在华出版的系统介绍欧几里得几何学的著作。同时及其



后刊行的数学著作还有：利氏和徐氏合编的《测量法义》，介绍测量高深广远的方法；利氏与李之藻合译的《同文算指》，介绍实用算术方法。

天文学方面，由利玛窦教授，经李之藻笔述的著作，有《浑盖通宪图说》、《经天该》、《乾坤体义》等，较为系统地介绍了西方的天文学知识，内容包括日月蚀的原理，七曜与地球体积的比较，西方所测知的恒星，以及用天体数学解释中国传统的天文学说周髀、浑天、盖天学说。他来华时带进，以及在华期间制作的天文仪器有浑天仪、天球仪、地球仪、简平仪、象限仪、纪限仪、日晷（guǐ）和望远镜等。利用展示和演示这些仪器，使西方的天文知识为更多人士所注意。

地理学方面，利玛窦带来的世界地图，打开了中国人的眼界，看到了整个世界的缩影。关于大地球形说、地图投影、五带划分、南北极、赤道、海陆分布、五大洲划分、各地名山大川，以及各国的国名和地名等新的地理知识，亦随之传入到中国。利玛窦还应肇庆知府王泮的要求，绘制了中国居于正中的世界地图，取名《山海輿地全图》，并标以中文，成为用中文印刷的第一张世界地图。从万历十二年至三十六年（1584 ~ 1608），这幅图刻印或摹绘达 12 次，图名亦称《山海輿地图》、《輿地全图》、《万国图志》、《坤輿万国全图》、《两仪玄览图》等。

此外，利玛窦带进的自鸣钟，亦令中国人感到惊异。当时即有人开始学习和仿制，开中国钟表工业之先河。

## 《崇祯历书》和《时宪历》

明代行用的历法《大统历》，实质上是元代《授时历》的沿袭，行用已久，已经有很大的误差。虽然不时有人提出改历的建议，但一直未能实行。崇祯二年五月乙酉朔（1629年6月21日）日食，钦天监依据《大统历》所作的预报又发生明显的差错，而徐光启依据西方天文学方法进行的推算则相当准确，于是明朝廷决定由徐光启负责改历。

徐光启设立的历局，由李之藻、李天经等协助，聘请了耶稣会士龙华民（N. Longobardi）、庞迪峨（D. Pantoja）、熊三拨（S. de Ursis）、阳玛诺（E. Diaz）、艾儒略（J. Aleni）、邓玉函（J. Terrenze）、汤若望（J. A. S. von Bell）等参加编译工作。整个工作自崇祯二年起，至崇祯七年（1634）完成，其成果集中于《崇祯历书》和为改革历法所写的各种奏疏中。徐光启负责《崇祯历书》的总编工作，1633年他去世后，由李天经负责。

《崇祯历书》包括46种，137卷。全书计分节次六目和基本五目，前者将历法分成日躔（chán）、恒星、月离、日月交会、五纬星和五星凌犯等六个部分；后者分法原（天文学理论）、法数（天文用表）、法算（天文学计算中必备的数学知识，主要是三角学和几何学）、法器（测量仪器和计算工具）和会通（中西各种度量单位的换算表）等五个方面。其中“法原”有40余卷，为全书之核心，不但论述了历法本身的问题，而且着重阐述了天文学理论和计算

方法。

这是一部比较全面系统介绍欧洲天文学知识的著作。书中大量引用了哥白尼《天体运行论》中的材料，基本上译出了其中的八章，并译用了哥白尼发表的 27 项观测记录的 17 项。书中介绍有伽利略关于太阳黑子在日面上运动的现象。书中引用有刻卜勒《论火星的运动》一书中的几段材料。这些都是当时欧洲天文学的最新成果。同时，书中明确地引入了地球的概念，介绍了经纬度及其测定和计算方法。在推算日、月、五星的视位置等问题时，介绍了周日视差和蒙气差的数值修正方法。在计算方法方面，介绍了球面和平面三角学。在座标系方面，介绍了黄道座标系。

但是，由于宗教的立场，书中采用的是丹麦天文学家第谷的宇宙体系，认为地球是宇宙的中心，日、月和恒星绕地球旋转，五大行星绕太阳运行，而没有介绍哥白尼的日心学说。在解释日、月、五星的视运动时，采用的是本轮、均轮等一套小轮系统，而没有介绍德国天文学家刻卜勒的行星运动三大定律。关于哥白尼的日心学说和刻卜勒的运动定律，直至 1760 年法国耶稣会士蒋友仁（P. Michael Benoist）向乾隆皇帝进献世界地图《坤輿全图》时，方在说明文字中加以介绍，而传入中国。

《崇祯历书》编成后，因反对派的阻挠和明末的战乱，终明之世未能正式颁行。1644 年清军进入北京后，汤若望对《崇祯历书》进行删改，压缩成 103 卷，更名《西洋新法历书》，进呈清朝廷。清朝廷予以采用，并把据此编制而



成的历法命名为《时宪历》，予以颁行。汤若望亦被任命为钦天监监正，成为在中国主持天文历法的第一个外国人。

## 康熙皇帝的科学活动

清圣祖爱新觉罗·玄烨（yè），因年号为康熙，故俗称康熙皇帝。他是清朝的一代圣主，在位 61 年，奠定了有清一代的基业。他文武兼备，博学多才，尤其在科学技术方面做了大量工作，对于当时中国的科技事业有重大的贡献，因而称之为清代杰出的科学家，亦不为过。

1661 年，八岁的康熙即皇帝位。1667 年，他 14 岁时亲政。他即位之始，便面临着中西历法的激烈争斗。顺治二年（1645）颁行《时宪历》后，一些守旧人士就不断起而反对，但因汤若望深得顺治皇帝之宠爱，而未能成功。顺治十七年（1660），新安卫官生杨光先又再次发难，以《时宪历》封面有“依西洋新法”字样，指控汤若望“窃正朔之权予西洋”。1664 年，康熙即位后三年，杨光先再次上书，指控汤若望谋反，鼓吹“宁可使中夏无好历法，不可使中夏有西洋人”。当时主持朝政的鳌拜把汤若望和另一在钦天监工作的耶稣会士南怀仁（F. Verbiest）囚禁入狱，1665 年议决处汤若望等凌迟或处斩。恰遇当年 4 月京师连日地震，宫中又遭火灾，这在古代被视为上天警告，于是太皇太后喻令开释。但《时宪历》亦因此被废弃，恢复使用旧历《大统历》和《回回历》，根本不懂历法的杨光先被任命为钦天监监正。1666 年汤若望去世，1669 年南怀仁上

书指摘旧历之错讹，要求为汤若望案昭雪，于是新旧历法之争又起。

当时满朝百官无一通晓历法，裁决是非的难题摆到康熙面前。年仅16岁的康熙充分显示出他的聪明才智，下令争议双方“预测正午日影之处，测验合与不合”。又传谕大学士等20人一起到北京观象台，检验双方所推立春和雨水时刻、月亮、火星、木星的位置等的准确度。



康熙读书像

结果南怀仁所预测逐项皆符，而依旧术所推算却逐项皆误。由之，康熙罢黜杨光先，任命南怀仁为钦天监监副，编定历法。由这一事件，康熙受到了很大的震动，下决心学习科学知识，“凡万几余暇，即专心于天文历法二十余年，所以知其大概，不至于混乱也。”他先后向南怀仁、张诚、白晋等传教士学习天文学、数学、物理学、医药学、地理学，以及火炮制造等知识，同时也向当时著名的中国数学家梅文鼎等学习传统的历算知识，成为通晓中外科学技术的君主。

他曾用带有望远镜的仪器在野外作地形测量，实测山

的高度和任何二点间的距离；

他曾用四分象限仪实测正午时的太阳高度，进而求出当地北极出地高度；

他曾用日晷的测量结果，推算当日正午的日影长度；

他曾预测 1690 年 2 月 28 日的日食，并率大臣于当日同往观象台验证；

1689 年南巡江宁府时，他根据当地北极出地高度研究老人星的出没问题，进而纠正《辽史·穆宗纪》关于辽都临潢（在热河境内）老人星记载的错讹；

.....

在康熙皇帝的倡导下，西方近代科学技术在中国得到较快地传播，影响面也迅速扩大，中国固有的科学技术亦以此为契机有了一定程度的复兴。

在康熙的科学活动中，最具代表性的可说是《数理精蕴》的编译和全国地图的测绘。

### **《数理精蕴》的编译**

《数理精蕴》全称《御制数理精蕴》，是在康熙皇帝的大力支持下，于 1690 年至 1721 年编译而成的。参加翻译的有法国传教士张诚、白晋等，参加汇编的有梅文鼎的孙子梅穀（jué）成、蒙古族数学家明安图等，全部编译工作都在皇宫内的蒙养斋进行。这是一部较为系统介绍西方数学知识的百科全书，内容包括几何学、三角学、代数学、算术等方面。全书分为上、下二编，上编五卷“立纲明体”，



下编 40 卷“分条致用”，表四种八卷，计 53 卷。

书中也列举有不少中国古代算书中的应用问题，但解答却是采用西方数学方法。只有在第一卷中叙述了“数理本源”和“周髀经解”两节，藉以说明中国传统数学的“本源”和悠久历史。

卷二至卷四为《几何原本》，分 12 章。第一章给出了点、线、面、体、圆、平行线，以及各种角度的定义；第二章给出关于三角形的几个定义和定理；第三章论四边形；第四章论圆和圆内接、外切多边形；第五章论立体几何；第六、七两章论量的比例；第八章论相似形；第九章论勾股定理及其他有关比例的命题；第十章论圆锥体、球和椭圆体的表面积和体积；第十一、十二章论几何作图法。总之，其内容与欧几里得《几何原本》大致相同，但著述体例有很大差异。

卷五为《算法原本》，论述了自然数的性质，内容包括自然数的相乘积、公约数、公倍数、比例、等差级数、等比级数等的性质。

下编卷一至三〇为实用算术，讲述度量衡制度，记数法，整数和分数四则运算，比例，解方程，开平方和开带从平方，勾股问题，三角学，圆内接和外切正多边形，正多边形、圆、弓形和椭圆面积，圆柱、圆锥、球、截球体和椭圆体，比重等问题。

卷三一至三六介绍当时传入中国的代数学知识。

卷三七、三八介绍对数和对数比例。

卷三九、四〇介绍比例规解，其中包括画日晷法和西方计算尺——假数尺。

书中所附的数学用表，包括素因数表、对数表、三角函数表和三角函数对数表。

《数理精蕴》出版后得到广泛的流传，在一段较长的时间内成为人们学习和研究西方数学的重要典籍，对后来数学的发展产生了重大的影响。

### 全国地图的测绘

康熙五十七年（1718）完成的《皇舆全览图》，是世界上通过实测而绘制的第一份大范围地图，是我国乃至世界测绘史上前所未有的创举。

这一重大的地图测绘工作，是在康熙皇帝的亲自主持下完成的。他说过，为这项工作他花费了“三十余年之心力，始克告成”。

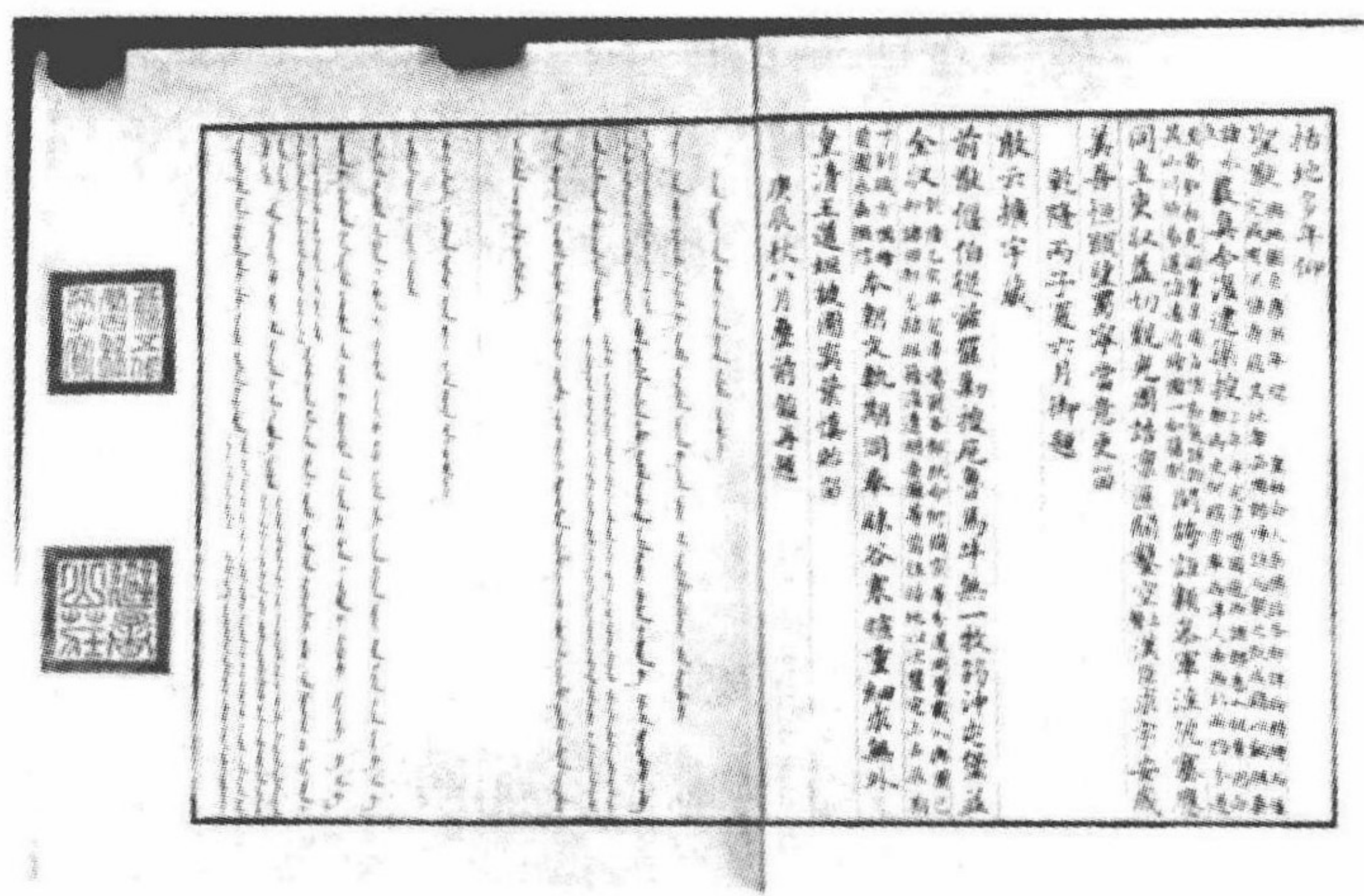
在绘制之前，经历了一段较长时间的酝酿和准备过程。据《清实录·圣祖实录》卷一二六记载，康熙二十五年（1686），在给《一统志》总裁勒德洪的上谕中，即说：“惟是疆域错纷，幅员辽阔，万里之远，念切堂阶。……特命卿等为总裁官，其董率纂修官，恪勤乃事，务求采搜闳博，体例精详，厄塞山川，风土人物，指掌可治，画地成图。”二十九年（1690），《中俄尼布楚条约》签订后，为了解俄国使团的来华路线，康熙曾查阅了一幅西方地图，发现图中关于亚洲和中国的标绘粗陋，简略不详，于是决心对中

国版图进行实测，绘制新图。其后他从广州购入仪器，三次亲征噶尔丹及巡视东北、江南时，都令随行传教士测定所至地方的经纬度。为了统一测量的长度单位，他亲自规定使用工部营造尺作标准，200里合地球经线1度，每里1800尺，每尺合经度1%秒。这是世界上最早采用的以地球的形体来定尺度的方法，18世纪末法国才以赤道之长来定米制的长度。四十一年（1702），他令测定经过中经线霸州（今河北霸县）到交河的距离。四十六年（1707），又令在京师附近进行测量，并绘制地图，他亲自校勘，认为远胜旧图。此时，康熙认为条件已经成熟，便下令进行大规模的测量和绘图。

正式的测绘工作从康熙四十七年（1708）开始，由法国传教士白晋、雷孝思、杜德美等人负责。他们先从长城测起，对长城上各门、各堡，附近城寨、河谷、水流，都进行了测量，并绘有“长城图”。之后，测量了东北地区。其间测得了北纬 $41^{\circ}$ ~ $47^{\circ}$ 间每度的距离，发现经线随纬度的增加而增长，当时虽还不能明了其中的道理，但却是关于地球为椭圆形的首次实证。康熙五十年（1711），为加快测量的进度，康熙命增添人员，分成二路同时并进，先后到山东、新疆、喀尔喀蒙古（今蒙古境内）、甘肃、陕西、山西、江苏、浙江、福建、台湾、江西、广东、广西、云南、四川、贵州、湖北、湖南等地进行测绘。全国性的实测于五十六年（1717）完成，计测得经纬点641个。此外，还曾派人到西藏测量，虽因故测量人员只到达恒河源，但



却首次发现了珠穆朗玛峰。



《皇輿全覽圖·序》

在实测基础上，绘制了《皇輿全覽圖》和 32 幅分省（区）图。这是中国第一次采用投影方法绘制而成的地图，对后世中国地图的绘制有着很大的影响。关于这些地图的资料，还由传教士带到欧洲，在欧洲影响颇深。

清初中国学者的科学研究

顺治、康熙时期对传教士的任用，促进了西方科学技术的传入，也激发了一批中国学者对科学的志趣。他们在接受西方科学知识的同时，致力于独立的研究，并取得了一定的成就。其中突出者有：

薛凤祚（1600 ~ 1680），字仪甫，山东益都（今淄博）人。早年曾向当时的学者魏文魁学习中国传统的天文历算，后又到南京向波兰传教士穆尼阁（Smogulecki）学习西方科

学知识，并协助穆氏翻译西方的科学著作。他认识到西学既有其长处，亦有其短处，力图把中西学术融会贯通。他依据当时各家历算方法，有关实用科学知识，以及自己会通中西所编写的天文著作，汇编成《历学会通》，于康熙三年（1664）刊行。全书分正集、致用、考验三部分，其内容以天文历法为主，还涉及数学、力学、水利、火器、兵法、乐律、医药等诸方面。其中的常用对数及三角函数对数表，是关于对数方法在中国的最早介绍。

方以智（1611～1671），字密之，安徽桐城人。他学贯中西，对西方的学说不是简单地照搬，而是持批判吸取的态度，有着自己独立的见解。其代表作为《物理小识》，书中在中国首先把知识分为“物理”（自然科学）、“宰理”（人文科学）和“物之至理”（哲学）三类。书中内容上至天文，下至地理、动植物、医药、人体以及日常器用等，几乎无所不包，而且古今中外兼收并蓄，为一部百科全书式的著作。

王锡阐（1628～1682），字寅旭，号晓庵，江苏吴江人。一生致力于天文历法的研究，对中、西两法均有透彻的理解，著《晓庵新法》六卷。其为学，“考正古法之误，而存其是，择取西说之长，而去其短”（《畴人传·王锡阐》），吸取二者的优点，并有所发明和创造。他提出了日月食初亏和复圆方位角计算的新方法，发明了计算金星、木星凌日的方法，还提出了计算月掩行星和五星凌犯的初、

终时刻的方法，都较当时的中、西法有所进步。

梅文鼎（1633 ~ 1721），字定九，号勿庵，安徽宣城（今宣州）人。毕生从事天文学和数学研究，对中西之学采取去伪存真的态度。主张“去中西之见”，“务集众长以观其会通，毋拘名目而取其精粹”，提出“数者所以合理也，历者所以顺天也。法有可采，何论东西，理所当明，何分新旧”（《璿堵测量》）。有天文学著作40余种，内容包括对中国古代历法的评述和研究，对《崇祯历书》的评论，对近人著述的评介，对他自己创制天文仪器的说明，对中西历法异同得失的比较，以及对中西历法的融会贯通等。又有数学著作10余种，内容涉及算术、代数学、几何学、平面三角学、球面三角学等初等数学的各个分支，并多有创见。

### 乾嘉学派及其对科学的影响

康熙之后继位的雍正皇帝一改康熙时期的政策，除钦天监留下极少数的传教士外，其余的传教士一律被驱逐到澳门，不准进入内地。自此，中国闭关自守，开始了长达一百二三十年的锁国，几乎与外界断绝了联系。这个时期正是西方科学技术突飞猛进，飞速发展的时期，而中国的知识界却陷入钻故纸堆、咀嚼文字、引经据典的状态，处于极其沉闷的学风之中。到乾隆（1736 ~ 1795）、嘉庆（1796 ~ 1820）年间，这一学风至盛，故称之为乾嘉学派。



也因此，中国科学技术与世界潮流的距离越拉越大，被远远地抛在后面。

乾嘉学派的出现，是当时历史和政治氛围的产物。清代雍正乾隆兴文字狱，执行寓禁于修的政策，提倡以考据的方法研究学问。于是，一批知识分子闭门钻研古籍，抛弃了清初“经世致用”的治学方向，开创了考证学之风尚。清政府为控制和笼络知识分子，亦组织大规模的古籍整理。其中，有康熙年间组织编纂的大型类书和工具书《古今图书集成》、《佩文韵府》等，乾隆期间更开设四库全书馆，编纂《四库全书》。正是在这种学术背景下，乾嘉学派在当时的文化和学术界占据绝对的统治地位，并对其后的学术研究和学术思想产生极大的影响。

乾嘉学派的研究范围以经学为中心，而衍及文字音韵、名物训诂、历史地理、天文历法、金石乐律、校勘辑佚等方面，其采用的治学方法则以考据为主，注重实证。因其推崇汉儒经注，又被称为汉学或清代古文经学，亦有以其学术风格和治学方法朴实无华，而名之为朴学的。

乾嘉学派在考证、整理古代典籍的活动中，也涉及到许多有关自然科学的典籍。他们不但校勘、注释了已有的科技文献，而且重新辑出或发现不少散佚的科技书籍。这些工作，对于读通难读的古籍，订正古籍流传中出现的讹讹，都有很大的帮助，而且通过整理使其得到保存和流传，供后人研究，有着一定的积极意义。

但是，这种以考据学为主的学风，虽在注疏之时亦对

原有的学识有所发明，但总的来说是从古书到古书，从历史到历史，脱离生产实践，更缺乏科学实验，违背了科学精神和科学发展规律，因此对科学技术造成了极大的负面影响。这是中国近代科学技术落后的重要原因之一。

## **洋务运动和中国近代科学技术**

18 世纪末、19 世纪初，当西方列强已对中国虎视眈眈、欲加吞噬的时候，清朝政府却还在以天朝上国自居，顽固地坚持闭关政策。乾隆五十八年（1793），英国派使者来华，要求通商和互派使节，被以“与天朝体制不合，断不可行”，加以拒绝，并说：“天朝物产丰盈，无所不有，原不藉外夷货物以通有无”，对增加贸易的要求，也被说成是“于定例之外多有陈乞，大乖仰体天朝加惠远人，抚育四夷之道”（《乾隆敕谕》）。嘉庆二十一年（1816），英国再次要求通商贸易，仍被拒绝，并说：“天朝不宝远物，凡尔国奇巧之器，亦不视为珍异”，“嗣后毋庸遣使远来，徒烦跋涉，但能倾心效顺，不必岁时来朝始称向化”（《嘉庆敕谕》）。其愚昧无知，到了无以复加的程度。

但是，历史是无情的。西方列强的枪炮终于打开了中国封闭的国门，使妄自尊大的清统治者迷梦破灭。历史向人们展示了落后就要挨打，愚昧就要受欺凌的真理。

1840 年鸦片战争后，中国的一些有识之士开始认识到中国的落后，并主张学习西方的长处，其中影响较大的有魏源。他著《海国图志》，提出“师夷长技以制夷”的主

张。这时期出现了一批研究和翻译西学的科学家，最著名的有李善兰，他与传教士合作，翻译出版了六部关于数学、天文学、力学和植物学的著作。他不仅续徐光启、利玛窦未竟之业，补译了《几何原本》后九卷，还系统介绍了哥白尼日心地动学说，而且第一次把牛顿力学三



李善兰像

大定律和万有引力定律，以及西方近代植物学介绍入中国。在翻译过程中，他创造了一大批科学名词，如代数、函数、微分、积分、合力、分力、细胞等等，不少沿用至今，并为日本所采用。

1860年第二次鸦片战争后，特别是“借师助剿”，借助西方列强军力剿灭太平天国后，清政府更认识到洋枪洋炮“足以摧坚破垒”（《筹办夷务始末》同治朝第二五卷），“将来师夷智以造炮制船，尤可期永远之利”（《曾文正公全集》奏稿第十五卷）。为了维护风雨飘摇中的政权，清政府开始兴办“洋务”，即发起人们所称的“洋务运动”。

所谓“洋务”，除对外交涉外，主要是练新军，购置洋枪洋炮和兵船战舰，同时兴办一批工厂、矿山，修铁路，办电报，办学堂等。在兴办“洋务”的热潮当中，西方的



科学技术，从新式织布机到原动机械蒸汽机，从各种工作母机到新式的转炉和平炉炼钢，以及轮船、火车、电报等交通、通讯工具，都相继引进中国。同时，还在北京、上海、天津、福州、广州等地开设了一批翻译馆和学堂，翻译出版了不少近代科技书籍，开始有了近代科技教育。著名的翻译出版机构有：京师同文馆，内设“天文算学馆”，聘任李善兰任总教习；上海、广州的“广方言馆”；上海的江南制造局翻译馆。一些传教士也在中国开办学堂和译书馆。这些翻译馆和学堂，都对近代科学技术在中国的传播，以及中国近代科学技术事业的创立，作出了不同程度的贡献。其中突出的有江南制造局翻译馆的化学家徐寿和数学家华蘅（héng）芳。

### 徐寿和华蘅芳

徐寿（1812 ~ 1884），字雪村，号生元，江苏无锡人。他从小刻苦好学，青少年时代亦曾走过科举道路，参加过童生考试，但未能取得功名。后来他认识到八股文章“无裨实用”，于是“专研格物致知之学”，致力于科学研究。他熟习中国古代的天算博物之书和明末清初耶稣会士翻译的科学著作。为了探求新知识，1857 年与同乡华蘅芳一道赴上海。在上海时，他看到了 1855 年翻译出版的《博物新编》。这是一部介绍西方近代物理、化学等自然科学最基本知识的著作，其中关于化学及其实验方法的记述，引起了很大的兴趣，促使他走上了化学研究的道路。其后，他

先后在安庆军械所和上海江南制造局工作，并对中国近代科技事业作出了重要的贡献。

在安庆军械所，他主持研制了中国第一艘以蒸汽为动力的轮船“黄鹄”号。这是一艘木质明轮船，造于1863年，载重25吨，航速达每小时20余里，从蒸汽机到船上的



徐寿像

所有零部件，均是中国自制，“造器置机，皆出徐寿手制，不假西人”（《清史稿·徐寿传》）。参加这项研究工作的，有华蘅芳、徐寿次子徐建寅等人。1867年，徐寿父子到江南制造局后，又先后研制成功“恬吉”（后改名“惠吉”）、“操江”、“测海”、“威靖”、“海安”、“驭远”、“澄庆”等号轮船。这期间，他还和传教士伟烈亚力合译《汽机发轫》，内容包括蒸汽机原理、锅炉构造、计算功率的数据、蒸汽机的操纵规程和注意事项等，刊行于1871年，为中国第一部系统介绍蒸汽机的著作。

在研制轮船的过程中，徐寿深切地认识到，要引进国外的先进科学技术，就必须系统地介绍国外的一些重要的科技著作。在他的倡议和筹划下，江南制造局专设一个译学馆，从事科技著作的翻译工作。从1867年到1884年，经

传教士口授，他“笔述成文”的译书有 20 余部，另有专论九篇，校阅书一部。其中《化学鉴原》等六部化学著作，系统地介绍了近代无机化学、有机化学、物理化学、分析化学和工业化学知识，为中国近代化学及化学工业的产生和发展奠定了基础。在翻译中，他还创立了用单字表示元素之名和加偏旁以别其类的命名方法，以西文的首音或次音来造字命名元素。这一方法一直沿用至今，他所译定的 64 个元素汉名中也有 44 个一直沿用至今。同时，他还创办了中国最早的科学教育机构之一“格致书院”，以及最早的科技期刊《格致汇编》。

此外，在化工、机械、矿业、医学、军工等方面，徐寿亦皆有所贡献。他的次子徐建寅继承父业，一直活跃在中国近代科技事业上，并多有成就，1901 年在试制无烟火药时，因意外爆炸而献身。

华蘅芳（1833 ~ 1902），字畹（wǎn）香，号若汀，无锡人。少年时即嗜好数学，后与徐寿结交，参与徐寿主持的许多活动。徐寿去世后，他曾到天津、武昌、无锡的学堂任教，成为晚清数学教育的一代宗师。

华蘅芳在数学方面有很深的造诣，对开方术、积较术、数根术等深有研究，并有所成就。著有《行素轩算稿》、《算法须知》和《西算初阶》。

同时，在译著方面华蘅芳也有出色的贡献。其所译的《金石识别》，首次将近代矿物学和晶体物理学知识系统地介绍入中国；《地学浅释》，是英国著名地质学家赖尔的名



著《地质学纲要》的最早中译本，书中所论述的赖尔地质进化均变说和达尔文的生物进化论，均是首次传入中国，对中国思想界产生了积极而深刻的影响；《决疑数学》，则是中国第一部关于概率论的译著。

### 清代末期中国近代科学组织的建立

随着洋务运动的进程，中国大地上开始兴起了“科学救国”，“工业救国”的思潮。1894年的中日甲午海战，洋务运动失败了，洋务运动的产物——北洋水师覆灭了，这在中国大地上引起了极大的震撼。日本明治维新后的强盛引起了中国朝野的重视，当时正在寻求拯救中国道路的先进人物，更加深了西学可以救中国的信念。他们认为，自然科学是西学的基础，掌握从“考”、“验”事物出发的自然科学，就可以把握事物的发展变化。“夫西学之最为切实而执其例可以御蕃变者，名、数、质、力四者之学而已”（严复《天演论·自序》）。于是“科学救国”、“工业救国”思潮更盛，学习和介绍西方的科学技术，在中国形成了一种风气。鲁迅曾经生动地描述过当时的情景，说：“甲午战败，他们自以为觉悟了，于是要‘维新’，便是三四十岁的中年人，也看‘学算笔谈’，看‘化学鉴原’；还要学英文，学日文，硬着舌头，怪声怪气的朗诵着，对人毫无愧色，那目的是要看‘洋书’，看洋书的缘故是要给中国图‘富强’……”（《准风月谈·重三感旧》）。

洋务运动期间派到西方留学的学子，这时已有不少学

成归国，而更多的留学生则纷纷出国，不但有远涉重洋赴欧美的，也有很多是东渡到日本的。他们中的多数人，选修的是科学技术。詹天佑即是学成归国的杰出人物之一。

詹天佑（1861～1919），号眷诚，广东南海人。1872年考取首批“幼童赴美留学预备班”，在耶鲁大学雪非尔德理工学院土木工程系专习铁路工程，1881年学成归国。先后主持修建京张铁路、川汉铁路、粤汉铁路等，为中国早期的铁路事业作出了重大的贡献。1912年创立广东中华工程师会，1913年与上海工学会和上海路工同人共济会合并，成立中华工程师会，为中国工程师的最早组织。



詹天佑像

随着“科学救国”和留学浪潮的兴起，中国近代科学技术事业得到了较快的发展，专门从事科学研究和活动的组织也相继创建。

最早成立的学会是“强学会”，它是由康有为等变法维新派于1895年在北京创立的，并创办《强学报》，提倡“学则强，群则强”。它虽然还不是单纯的学术组织，而是兼具学校和政党性质的团体，主要为变法维新服务，但却

开了中国学会组织之先河。特别是梁启超在《时务报》发表的“论学会”一文，提倡“有一学即有一会”，说：“欲兴农学，则农学会之才不可胜用也。欲兴矿利，则矿学会之才不可胜用也。……欲制新器，广新法，则天、算、声、光、化、电等学会之才不可胜用也。以雪仇耻，何耻不雪；以修庶政，何政不成”，对学会的建立有深刻的影响。

其后建立的科技学会有：

1896 年成立的上海农学会，又名务农会，提出采用西法以兴天地自然之利，讲求农学以相国家富强之原。会中广泛收集东西洋农学书报，翻译采编，发行《农学报》，创设农务学堂。

1897 年在南京成立的测量学会，又名金陵测量会。会中制订练习仪器、专精一门、测立距、测平距、分测、会测、绘图、定尺、日记、著说等 10 条章程。

1901 年在上海创办的科学仪器馆，其宗旨为编译科学丛书，制造理化器械，后又附设理科讲习所。

1909 年在天津创立的中国地学会，创办有《地学杂志》。

这时期创办的科学组织还有长沙的“地学公会”，郴（chēn）州的“舆算学会”，上海的“算学会”、“地图公会”和“亚泉学馆”等。辛亥革命之后，各种科学技术学会更如雨后春笋般地建立。从此，中国古代的传统科学，除中医药学外，都相继为近代科学所融合或取代。



[ G e n e r a l   I n f o r m a t i o n ]

书名 = 中国古代科技

作者 = 金秋鹏著

页数 = 1 6 1

S S 号 = 1 2 7 8 5 3 7 8

出版日期 = 2 0 1 0 . 0 9

封面  
版权  
目录

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| 第一章 | 中国传统科学技术的萌芽（原始社会时期，170 万年前～4000 年前）  |
| 第二章 | 中国传统科学技术的奠基（先秦时期，约公元前 21 世纪～前 221 年） |
| 第三章 | 中国传统科学技术的形成（秦汉—南北朝时期，前 221～581）      |
| 第四章 | 中国传统科学技术的发展（隋唐宋元时期，581～1368）         |
| 第五章 | 中国传统科学技术的衰落（明清时期，1368～1911）          |